

6/2013

Veranstaltungen

Kolloquium

Die Zukunft des Wasserhaushaltes im Elbeeinzugsgebiet

29.-30. November 2012 in Dresden

Kolokvium

Budoucnost vodního režimu v povodí Labe

29.-30. listopadu 2012 v Drážďanech

Koblenz, Juni 2013

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: +49 (0)261 1306-0
Fax: +49 (0)261 1306 5302
E-Mail: posteingang@bafg.de
Internet: <http://www.bafg.de>

Übersetzungen: Martina Matern
Gabriela Oeburg

Druck: Druckerei Fuck, Koblenz

ISSN 1866 – 220X

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2013.6

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst6_2013.pdf

Zitiervorschlag:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Die Zukunft des Wasserhaushaltes im Elbe-einzugsgebiet. Kolloquium am 29.-30. November 2012 in Dresden / Budoucnost vod-ního režimu v povodí Labe. Kolokvium 29.-30. listopadu 2012 v Drážďanech –

Veranstaltungen 6/2013, Koblenz, Mai 2013, 236 S., deutsch/tschechisch;

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2013.6

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst6_2013.pdf

Inhalt / *Obsah*

Einführung / Úvod.....	6
Wechselnde Rahmen- und Randbedingungen für den Wasserhaushalt und für die (nachhaltige) Wassernutzung im Elbeinzugsgebiet	
Uwe Grünewald.....	7
Änderungen des Abflussregimes im Elbeinzugsgebiet im 20. Jahrhundert: Beobachtungen als Schlüssel zur Simulation der Zukunft	
Jörg Uwe Belz.....	13
Klimaszenarien für die Tschechische Republik	
Jan Pretel.....	25
Hydrometeorologische Referenzdaten und aufbereitete Klimaprojektionen für die hydrologische Modellierung	
Ulf Riediger, Sabrina Plagemann, Florian Imbery, Monika Rauthe, Joachim Namyslo und Annegret Gratzki	32
Erwartete Änderungen des Wasserhaushalts bei Hochwasser und bei Niedrigwasserständen an tschechischen Flüssen im 21. Jahrhundert	
Jan Daňhelka und Bohuslava Kulasová.....	38
Änderungen des Wasserhaushalts der Elbe im 21. Jahrhundert	
Imke Lingemann, Enno Nilson, Maria Carambia und Peter Krahe	47
Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbilanz und mögliche Anpassungsmaßnahmen in der Tschechischen Republik	
Martin Hanel, Ladislav Kašpárek und Magdalena Mrkvičková	59
Wasserbewirtschaftung und Klimawandel im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte und Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes	
Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach und Jochen Hohenrainer	65
Panta rhei – Wechselwirkungen zwischen Landnutzung, Klimawandel und Wasserhaushalt	
Gunnar Lischeid.....	83
Beeinflussung von Hochwassern der Elbe durch den Betrieb von Talsperren in Tschechien und Thüringen	
Marcus Hatz und Norbert Busch	90

Inhalt / *Obsah*

Erwartungen an Zukunftsprojektionen aus Sicht der FGG Elbe, regionale Anpassungsstrategien in Sachsen-Anhalt	
Mathias Weiland und Sven Schulz	96
Notwendigkeit der Bewertung von Folgen des Klimawandels für die Wasserbewirtschaftung	
Jiří Skořepa	102
Informationsbedarf zu den Auswirkungen des Klimawandels – Erwartungen aus der Perspektive des Wasserstraßenbetreibers	
Thomas Gabriel	108
Entwicklung der Schifffahrt in der Tschechischen Republik – die Elbe als Wasserstraße	
Jan Bukovský	113
Schlussbemerkungen	
Thomas Maurer	118
 <i>Měnící se rámcové a okrajové podmínky pro vodní režim a (udržitelné) využívání vody v povodí Labe</i>	
Uwe Grünwald	125
 <i>Změny odtokového režimu v povodí Labe ve 20. století: pozorování jako klíč k simulaci budoucnosti</i>	
Jörg Uwe Belz	131
 <i>Klimatické scénáře pro Českou republiku</i>	
Jan Pretel	143
 <i>Hydrometeorologická referenční data a projekce změn klimatu zpracované pro hydrologické modelování</i>	
Ulf Riediger, Sabrina Plagemann, Florian Imbery, Monika Rauthe, Joachim Namyslo a Annegret Gratzki	149
 <i>Očekávané změny vodního režimu při povodních nebo při nízkém stavu vody na českých řekách v 21. století</i>	
Jan Daňhelka a Bohuslava Kulasová	155

Inhalt / Obsah

<i>Změny vodního režimu Labe ve 21. století</i> <i>Imke Lingemann, Enno Nilson, Maria Carambia a Peter Krahe</i>	163
<i>Dopady změny klimatu na hydrologickou bilanci a možná adaptační opatření v České republice</i> <i>Martin Hanel, Ladislav Kašpárek a Magdalena Mrkvičková.....</i>	175
<i>Nakládání s vodami a klimatická změna v německém povodí Labe – data, koncepce a modely zobrazené na příkladu řeky Havoly</i> <i>Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach a Jochen Hohenrainer.....</i>	180
<i>Panta rhei – vztah mezi využíváním území, klimatickou změnou a vodním režimem</i> <i>Gunnar Lischeid</i>	198
<i>Vliv provozu vodních přehrad České republiky a Durynska na povodně na toku Labe</i> <i>Marcus Hatz a Norbert Busch.....</i>	205
<i>Očekávání plynoucí z projekcí budoucnosti z pohledu Společenství povodí Labe, regionální adaptační strategie v Sasku-Anhaltsku</i> <i>Mathias Weiland a Sven Schulz.....</i>	211
<i>Potřeba hodnocení následků změn klimatu pro plány nakládání s vodami</i> <i>Jiří Skořepa.....</i>	217
<i>Potřeba informací o dopadech klimatické změny – otázky z pohledu provozovatele vodních cest</i> <i>Thomas Gabriel</i>	223
<i>Rozvoj vodní dopravy v ČR – Labská vodní cesta</i> <i>Jan Bukovský</i>	228
<i>Závěrečné poznámky</i> <i>Thomas Maurer</i>	232

Einführung / Úvod

Die Wasserressourcen der Elbe und ihrer Nebenflüsse unterliegen verschiedenen, oft konkurrierenden Nutzungen. In zunehmendem Maße werden diese als unvereinbar betrachtet, was zu kontroversen öffentlichen Debatten führt. Dies wird verstärkt durch Klimaprojektionen, die eine steigende Wasserknappheit in den kommenden Jahrzehnten anzeigen. Vor diesem Hintergrund werden aktuelle Planungen zur Entwicklung der Elbe z. B. als Wasserstraße in Frage gestellt.

Gleichzeitig bleibt das Elbeeinzugsgebiet eine Herausforderung für hydrologische Modellierer. Die Messungen spiegeln eine Mischung aus klimatischen und anthropogenen Veränderungen wider und sind mit der gebotenen Vorsicht zu interpretieren. Klimamodelle und Klimawirkungsmodelle werden kontinuierlich weiterentwickelt, sie zeigen aber noch viele Unschärfen bei der Simulation der aktuellen und künftigen Wasserressourcen.

Das Kolloquium widmet sich zwei wesentlichen Aspekten: Erstens sollen die Möglichkeiten und Schwierigkeiten bei der Ableitung von Zukunftsszenarien des Wasserdargebotes, der Wassernutzungen und Abflüsse im Elbeeinzugsgebiet aufgezeigt werden. Zweitens sollen vor diesem Hintergrund die Anforderungen von potenziellen Nutzern diskutiert werden, um diese bei der Formulierung von Anpassungsstrategien zu unterstützen.

Vodní zdroje Labe a jeho přítoky podléhají různým, často si konkurujícím druhům využívání. Ty se stále častěji považují za obtížně slučitelné a vedou k kontroverzním veřejným debatám. Stávající situace je posilována projevy změn klimatu, které avizují nedostatek vody v budoucích desetiletích. Na tomto základě jsou zpochybňovány aktuální plány zaměřené na rozvoj Labe například jako vodní cesty.

Zároveň zůstává povodí Labe jako celek i výzvou pro hydrologické modelování. V naměřených datech se odrážejí klimatické a antropogenní vlivy a změny, které je však třeba interpretovat s opatrností. Klimatické modely a modely dopadů klimatických změn se neustále rozvíjejí, avšak stále ještě vykazují řadu nepřesností a nejistot při simulaci aktuálních i budoucích průtoků a zdrojů vody.

Kolokvium se věnuje dvěma podstatným aspektům: Za prvé je třeba popsat možnosti a problémy při odvozování budoucích scénářů pro určení disponibilního množství vody, pro způsob využívání vodních zdrojů a odtokové poměry v povodí Labe. Za druhé je třeba na jejich základě diskutovat o požadavcích potenciálních uživatelů a zohlednit je při formulování adaptačních strategií.

Veranstalter / Pořadatel:

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)
Na Šabatce 2050/17
143 06 Praha 412-Komořany
Česká republika
www.chmi.cz

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Bundesrepublik Deutschland
www.bafg.de

Wechselnde Rahmen- und Randbedingungen für den Wasserhaushalt und für die (nachhaltige) Wassernutzung im Elbeeinzugsgebiet

Uwe Grünewald

1 Einleitung

Der Wasserhaushalt der Elbe mit ihrem viertgrößten Flusseinzugsgebiet Mitteleuropas war und ist vielfältigen Eingriffen und Einflüssen ausgesetzt. Neben dem gegenwärtig vor allem diskutierten anthropogen verursachten Klimawandel waren und sind das vor allem die natürliche Klimavariabilität, die Veränderung der Landnutzungen, der Bau von multifunktional genutzten wasserwirtschaftlichen Speichern und Überleitungen (im Einzugsgebiet), Entnahmen und Überleitungen zur Bedarfsbefriedigung von Industrie, Landwirtschaft und anderen Nutzern sowie die Umgestaltung der Fließgewässerlandschaften für die Schifffahrt und die Hochwasservorsorge. Die Befriedigung des räumlich und zeitlich variablen Wasserbedarfs und der Schutzansprüche der verschiedensten Nutzer aus dem oft dazu räumlich und zeitlich unterschiedlich auftretenden Dargebot an und Gefahren durch Wasser war über Jahrhunderte hinweg eine sich stetig neu stellende Aufgabe für die Wasserwirtschaft im Elbegebiet. Unter heutigen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen gilt es, Wasserdargebot und -bedarf durch dargebots- und/oder bedarfsorientierte Einflussnahmen mit maximaler Nachhaltigkeit in vertretbare Übereinstimmung zu bringen.

2 Leitprinzipien und Handlungsfelder einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung – nicht nur im Einzugsgebiet der Elbe

Voraussetzung für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen, die sich aus den Naturpotenzialen und dem ober- und unterirdischen Wasserdargebot einer Landschaft ergeben, ist ein ausgewogenes Verhältnis von Wasserdargebot und Wasserbedarf in den Flusseinzugsgebieten (GRÜNEWALD 2003). Ausgewogenheit bedeutet dabei keineswegs eine vollständige Befriedigung des Bedarfs. In vielen Regionen der Welt übersteigt der Bedarf schon heute das vorhandene Dargebot, so dass Vorrangregelungen, Prioritätensetzungen und Mehrfachnutzung nötig sind. Allerdings darf sich die Ausgewogenheit nicht nur auf das potenzielle Wasserdargebot beziehen. Das potenzielle Wasserdargebot innerhalb eines Raumausschnittes wird definiert als Differenz des langjährigen Mittelwertes von Niederschlag und Verdunstung, während das stabile Wasserdargebot sich als Differenz zwischen dem potenziellen

Wasserdargebot und den schnell abfließenden (kaum nutzbaren) Hochwassermengen darstellt. Eine Umverteilung des Wassers wird technisch vor allem durch Speichereinrichtungen und Speicherbewirtschaftung über die Erschließung und Nutzung des regulierten Wasserdargebotes möglich.

Stark vereinfacht lässt sich die Diskussion in (BSMUG 2012) zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen zusammenfassen in:

Nur so viel Wasser verbrauchen, wie unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte raum- und zeitbezogen neu gebildet wird. Beim weltweit diskutierten IWRM-Konzept („Integriertes WasserRessourcenManagement“) hieße dies, die Prinzipien der

- > „ökologischen Verträglichkeit“ (... nicht nur Ressourceneffizienz, sondern auch Erhalt der Naturressourcen Wasser, Boden, ...)
- > „sozialen Verträglichkeit“ (... Zugang zu Wasserdienstleistungen zu sozialverträglichen Preisen, Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse, ...)
- > „ökonomischen Verträglichkeit“ (... ausreichend finanzielle Ressourcen für Strukturerhalt, Rentabilität ...)

einzuhalten.

Eine nachhaltige Planung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen stellte bisher in vielen Ländern der Welt, aber auch in Europa und in einigen Regionen Deutschlands, insbesondere im deutschen Elbegebiet, eine große Herausforderung dar.

Sie ist ohne entsprechende leistungsfähige Verfahren und Instrumentarien (z. B. LOUCKS & VAN BEEK 2005) sowie Anpassungsmaßnahmen (HÜTTL & BENS 2011; GRÜNEWALD et al. 2012) an den globalen Wandel – insbesondere an den Landschafts- und Klimawandel – zukünftig nicht zu bewältigen.

3 Die Elbe und ihr Einzugsgebiet – Was ist das Besondere?

Für das gesamte Einzugsgebiet der Elbe liegt mit (IKSE 2005) ein hervorragender und ausführlicher „geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick“ in tschechischer und deutscher Sprache vor. Aus dem darin enthaltenen umfangreichen Zahlenmaterial lassen sich die vielfältigen wasserhaushaltlichen und wasserwirtschaftlichen Rahmen- und Randbedingungen ableiten, denen die Elbe und ihr Einzugsgebiet ausgesetzt waren und sind. Keineswegs ausreichend ist es, das Elbeeinzugsgebiet durch den einfachen Vergleich der prozentualen Flächennutzungsanteile für Landwirtschaft, Wasser, Wald, Siedlungen bzw. der Besiedlungsdichte im Vergleich zur Fläche Gesamtdeutschlands (BORCHARDT 2012) z. B. als „dünn besiedelte, gewässerarme Agrarlandschaft im Osten“ zu charakterisieren. Näher kommt man den wasserhaushaltlichen Besonderheiten des Elbeeinzugsgebietes, wenn man die mittlere jährliche Abflusshöhe von 183 mm/a (IKSE 2005), die einer Menge an potenziellem Wasserdargebot von 27,2 Milliarden m³/a entspricht, auf die Fläche des Einzugsgebietes (A_E) bezieht. Dann ergibt sich z. B. eine mittlere jährliche Abflussspende von $\bar{q} = 5,4 \text{ l/s/km}^2$ für den Pegel Neu Darchau (repräsentiert 89 % des gesamten A_E). Verglichen mit anderen mündungsnahen Pegeln mitteleuropäischer Flüsse zeigt sich, dass die Elbe eines der abflussärmsten Flussgebiete Mitteleuropas darstellt.

Nimmt man den Bezug auf Kubikmeter potenzielles Wasserdargebot pro Einwohner (E) vor, so ergibt sich als Ergebnis, dass - neben der Themse in England - die Elbe gemäß FALKEN-MARK & WIDSTRAND (1992) mit einer mittleren jährlichen Verfügbarkeit von kleiner als $1.000 \text{ m}^3/\text{E}/\text{a}$ („Falkenmark-Index“) als „Wassermangelregion“ (weit z. B. vor dem Rhein, der Donau, dem Ebro, der Loire oder der Rhone) gekennzeichnet ist. Ähnliches ergibt sich für einen internationalen Vergleich der „Wasserstress-Indices“ gemäß WWAP (2009) (als Quotient der Summe der Wasserentnahmen zur Menge an potenziellem Wasserdargebot), in dem wiederum die A_E der Themse und der Elbe als solche unter „Wasserstress“ in Mitteleuropa herausragen.

Einerseits tun wir uns mit solch einer ohne Zweifel objektiven Quantifizierung von „Wassermangel“ und „Wasserstress“ in Mitteleuropa schwer. Hiermit sind andere Assoziationen verknüpft. Andererseits zeigt sich die begrenzte Aussagefähigkeit solcher einfacher und einseitiger Indikatoren, da sie z. B. nicht das gesellschaftliche, ökonomische usw. Potenzial zur Bewältigung dieser wasserbezogenen Defizite berücksichtigen.

Unter der vereinfachten Annahme, dass das stabile Wasserdargebot im Mittel etwa zur Hälfte den schnell abfließenden (nicht nutzbaren) Hochwasserabflussmengen gegenübersteht, ergibt sich dieses aus dem potenziellen Wasserdargebot zu 13,6 Milliarden m^3/a für das gesamte Elbeeinzugsgebiet. Daraus resultiert eine weitere wasserwirtschaftliche Besonderheit des Elbeeinzugsgebietes, nämlich das große (historisch gewachsene) regulierte Wasserdargebot mit 4,08 Milliarden m^3/a in 292 Talsperren (Stand: 31.12.2003 – IKSE 2005, S. 33). Das entspricht 29 % des stabilen Wasserdargebotes. Ein solch hoher Anteil des regulierten Wasserdargebotes dürfte auch für Europa Seltenheitswert besitzen. Eine Vielzahl von überregionalen Fernwasserversorgungssystemen und die entscheidende Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen auf der Elbe waren und sind das Resultat dieses hohen Regulierungs- bzw. „Speicherausbaugrades“ (GRÜNEWALD 2001).

Letztlich ist feststellbar, dass insbesondere das Teilgebiet der deutschen Elbe, welches rd. 27 % des deutschen Staatsgebietes (zum Vergleich der deutsche Rheingebietsanteil ist mit rd. 29 % nur unwesentlich größer) überdeckt, sich durch äußerst niedrige Wasserdargebotswerte und Wasserverfügbarkeitswerte auszeichnet. Das wird auch im Vergleich deutscher Bundesländer und deutscher Flusseinzugsgebiets-Anteile deutlich: Im insgesamt mit einer mittleren jährlichen Abflusshöhe von 296 mm/a wasserreichen Deutschland gibt es die vor allem im Rhein- und Donaugebiet liegenden wasserreichen Bundesländer Baden-Württemberg (mit 472 mm/a mittlerer Abflusshöhe) und Bayern (mit entsprechenden 382 mm/a), denen die vor allem im Elbegebiet gelegenen sehr wasserarmen Bundesländer Brandenburg und Sachsen-Anhalt (mit 88 mm/a und 93 mm/a mittlerer jährlicher Abflusshöhe) gegenüberstehen (HAD 2003, jeweils Referenz-Jahresreihe 1961 bis 1990).

4 Zusammenfassung und Ausblick – Das einzig Beständige bleibt auch im Elbegebiet der Wandel

Die in diesem Zusammenhang vor allem im 20. Jahrhundert durchgeführten Maßnahmen zur Sicherstellung des Wasserbedarfes (u. a. Speicherbau für die Energieerzeugung, die Schifffahrt und die Bereitstellung von Bewässerungswasser für die Landwirtschaft sowie Maßnahmen zur Hoch- und Niedrigwasserversorge), ungezügelter Industrialisierung in Ballungsräumen und die großräumige und tiefgreifende Förderung von Braunkohle haben vor allem im

deutschen Elbegebiet zu erheblichen Nachhaltigkeitsdefiziten geführt (WECHSUNG et al. 2005). Diese spiegeln sich aber räumlich und zeitlich außerordentlich unterschiedlich wider. Sie wurden und werden neben den unterschiedlichen hydrologischen, klimatologischen und ökologischen Bedingungen und Wirkungen vor allem von den jeweiligen politischen, ökonomischen und sozialen Bedingungen geprägt. So kam es beispielsweise mit dem drastischen Rückgang des Wasserbedarfs, dem wirtschaftlichen Niedergang wasserintensiver Industriezweige sowie dem Zusammenbruch der Bewässerungslandwirtschaft nach der gesellschaftlichen Wende im Jahr 1989 (mit Ausnahme der Situation in den Braunkohleabbaugebieten) zu einer wasserwirtschaftlichen Entlastung vor allem im Bereich der deutschen Elbe. Das im Rahmen eines Netzwerkes von (z. B. klimatologischen, hydrologischen, wasserwirtschaftlichen, ökonomischen) Modellen sowie entsprechenden Daten- und Wissensgrundlagen über einen Zeitraum von zehn Jahren intensiv bearbeitete interdisziplinäre Verbund-Forschungsprojekt GLOWA-Elbe („**G**lobaler **W**andel des Wasserkreislaufes im Elbegebiet“) zeigt auf, dass sich dieser zwischenzeitlich nachlassende Nutzungsdruck durch den klimawandelbedingten Rückgang des Wasserdargebotes im Elbegebiet wieder verschärfen wird (WECHSUNG 2012). Bezüglich der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung werden dabei kaum Probleme im deutschen Elbegebiet zu erwarten sein. Vor allem aber in den Elbe-Teileinzugsgebieten von Spree, Schwarzer Elster und Havel wird mit erheblichen Defiziten und Risiken bei der Wasserbereitstellung für die verschiedenen Nutzer und Nutzungen („inklusive des Bedarfs von Ökosystemen, welche die Grundlage des menschlichen Überlebens bilden“ (EUWID 2012)) zu rechnen sein.

Wassermangelsituationen werden sich darüber hinaus im Elbegebiet regional dort einstellen, wo übergeordnete – nicht mit den Zielen der EU-Wasserpolitik (EUWID 2012) abgestimmte - Strategien (wie z. B. nationale Energie- oder Biomassestrategien) zu einer Wiederbelebung der landwirtschaftlichen Beregnung o. ä. führen werden.

Aus dem Forschungsprojekt GLOWA-Elbe lassen sich differenzierte Anpassungsmaßnahmen der Wasserbewirtschaftung an den Klimawandel bzw. den globalen Wandel im Elbegebiet ableiten. Eine Vielzahl z. Z. angelaufener Forschungsprojekte unterschiedlicher Mittelgeber und Institutionen lassen in den nächsten Jahren weitere methodische Untersetzungen bzw. Szenario-, Risiko- und Unsicherheitsanalysen erwarten.

Methodisch hat sich die Herangehensweise im Projekt GLOWA-Elbe als sach- und problemgerecht bewährt. Worauf es zukünftig neben dem weiteren Abgleich der Verfahren (siehe EBNER VON ESCHENBACH & HOHENRAINER 2013) stärker ankommen sollte, ist einerseits die verstärkte regionale Untersetzung, z. B. in den sich abzeichnenden Problemregionen und Problemflusseinzugsgebieten. Hierzu wurden im Originalvortrag am 29. November 2012 in Dresden für jeweils 28 – in Abstimmung mit der Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe ausgewählte – deutsche Elbe-Teileinzugsgebiete bisherige und zukünftige regionale Wasserverfügbarkeits- und Wasserdargebotesverhältnisse präsentiert, welche diese explizit herausstellen. Andererseits bedarf es der weiteren nüchternen und sachlichen Ableitung von Anpassungsstrategien bzw. Anpassungsmaßnahmen in flussgebiets-, bundesländer-, sektoren- und akteursübergreifender Art und Weise.

Nur so dürfte es den politischen Entscheidungsträgern gelingen, die ihnen auferlegte Verpflichtung, im Bereich der Wasserpolitik alles Notwendige zu unternehmen, „um für künftige Generationen eine intakte Kultur- und Naturlandschaft zu (erhalten und) gestalten“ (IKSE 2005, S. 254.), zu erfüllen.

Literatur

- BORCHARDT, D. (2012): Die Elbe im Wandel der Zeit: Wasserhaushalt und Klimawandel. In: Stadt, Land, Fluss – Moderne Wege der Wasser- und Abfallwirtschaft. Bundestagung der DWA am 26. und 27. September 2012 in Magdeburg. URL: <http://de.dwa.de/buta-vortraege-26092012.html> (Zugriff am 10.01.2013).
- BSMUG (2012): Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit: Die neue Wasserkunst der nachhaltigen Bewirtschaftung. Kongress Nachhaltigkeit in der Bayerischen Wasserwirtschaft. 11. und 12. Oktober 2012, Weißenstephan, 135 S., URL: http://www.wdl.wzw.tum.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Tagungsband_endgueltige_Version_02_10_2012.pdf (Zugriff am 10.01.2013).
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., HOHENRAINER, J. (2013): Wasserbewirtschaftung im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte und Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 65-82
- EUWID (2012): EU-Kommission stellt Konzept für Schutz der europäischen Gewässer vor – Umsetzung und Integration im Fokus/ Kaum neue EU-Gesetze vorgesehen. Jahrgang 15, 47. 20.11.2012.
- FALKENMARK, M., C. WIDSTRAND (1992): Population and Water Resources: A Delicate Balance (Population Bulletin), Population Reference Bureau, Washington D. C., USA.
- GRÜNEWALD, U. (2001): Wasserwirtschaftliche Planungen. In: Lecher, K., H.-P. Lühr, U. Zanke (Hrsg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 8. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, 1123-1163.
- GRÜNEWALD, U. (2003): Leitthema 1: Wasser in der Landschaft, In: Wasserforschung im Spannungsfeld zwischen Gegenwartsbewältigung und Zukunftssicherung. Denkschrift der Senatskommission für Wasserforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), WILEY-VCH, Weinheim, S. 14-36.
- GRÜNEWALD, U., O. BENS, H. FISCHER, R. F. J. HÜTTL, K. KAISER, A. KNIERIM (Hrsg.) (2012): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 299 S.
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. CD-ROM. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bonn.
- HÜTTL, R. F. J., O. BENS (Hrsg.) (2011): Georessource Wasser – Herausforderung globaler Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland (acatech STUDIE), Springer, Heidelberg, 262 S..
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Magdeburg. 258 S., URL: <http://www.ikse-mkol.org/index.php?id=210> (Zugriff am 10.01.2013)
- LOUCKS, D. P., E. VAN BEEK (2005): Water Resources Systems Planning and Management. UNESCO, 680 S.
- WECHSUNG, F., A. BECKER, P. GRÄFE (Hrsg.) (2005): Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Bd. 6: Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA Elbe). Weißensee Verlag Berlin.
- WECHSUNG, F. (2012): Veränderungen der Stadt-Land-Fluss Beziehung im Klimawandel – Ergebnisse einer Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe. In: Grünwald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R.F.J., Kaiser, K., Knierim, A. (Hrsg.) (2012): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 109-126.
- WWAP (2009): The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World, World Water Assessment Programme, UNESCO, Paris, London: Earthscan.



Kontakt:

Prof. Dr. rer. nat. habil.

Uwe Grünewald

Brandenburgische Technische

Universität Cottbus

Professur Hydrologie und
Wasserwirtschaft

PF 101344

03013 Cottbus

Tel.: 0355/ 69 42 34

Fax: 0355/ 69 42 35

E-Mail:

Uwe.Gruenewald@tu-cottbus.de

geb. am 08. Juni 1944 in Jena

1964 - 1969

Hydrologiestudium an der Humboldt-Universität
Berlin und der Technischen Universität (TU) Dres-
den

1969/71

Forschungsstudium an der TU Dresden

1971

Dissertation an der TU Dresden

1971 - 1974

Wissenschaftlicher Assistent im Bereich Hydrolo-
gie und Meteorologie der Sektion Wasserwesen der
TU Dresden

1974 - 1979

Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Was-
serwirtschaft (IfW) in Erfurt und Berlin

1978

Habilitation an der TU Dresden

1979

Berufung zum ordentlichen Dozenten für Hydrolo-
gie/Wassermengenwirtschaft der Sektion Wasser-
wesen der TU Dresden

1992

Berufung zum Universitätsprofessor für Hydrologie
und Wasserwirtschaft an die TU Cottbus

01.04.1993 - 30.09.2011

Tätigkeit als Universitätsprofessor für Hydrologie
und Wasserwirtschaft an der TU Cottbus, der heu-
tigen Brandenburgischen Technischen Universität
(BTU)

seit 01.10.2011

Gastprofessor: Professur Hydrologie und Wasser-
wirtschaft an der BTU

Änderungen des Abflussregimes im Elbeeinzugsgebiet im 20. Jahrhundert: Beobachtungen als Schlüssel zur Simulation der Zukunft

Jörg Uwe Belz

1 Untersuchungsgegenstand und Untersuchungsgebiet

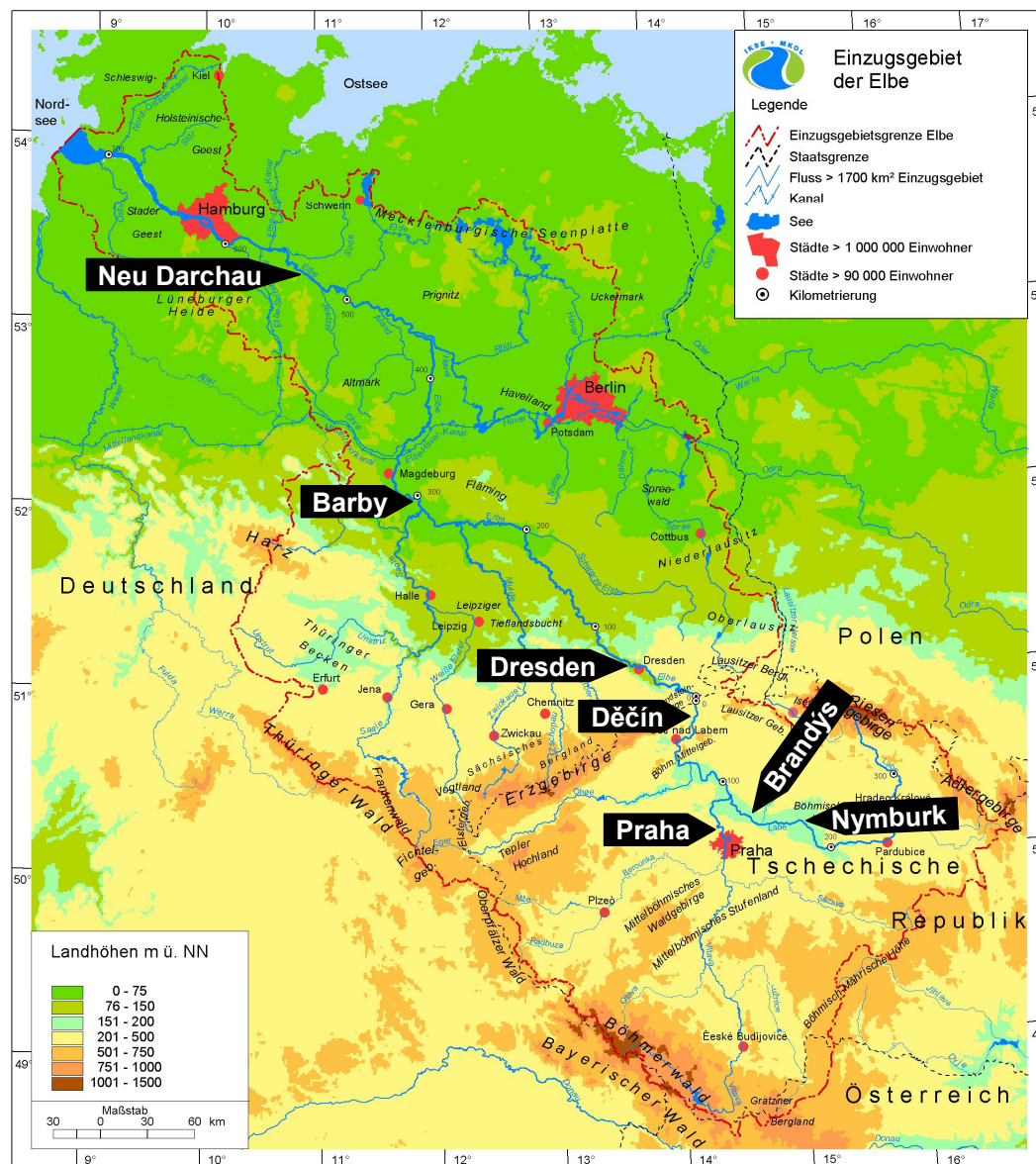


Abb. 1: Elbegebiet (IKSE 2005) und berücksichtigte Pegelstationen

Mit dem Begriff Abflussregime wird im Folgenden das hydrologische Gesamtverhalten von Fließgewässerabflüssen unter besonderer Berücksichtigung des vieljährig gemittelten innerjährlichen Abflusses mit seinen charakteristischen Schwankungen beschrieben; dabei eingeschlossen werden neben den Mittelabflüssen auch die kennzeichnenden Entwicklungen der extremen Hoch- und Niedrigwasser-Situationen.

Dabei kann die angestrebte kurze Überblicksdarstellung nicht alle großen und kleinen Gewässer im gesamten Elbegebiet mit seiner Flächenausdehnung von 148.268 km² berücksichtigen. Statt dessen erfolgte eine Beschränkung auf eine Reihe von repräsentativen Pegeln an Elbestrom und Moldau, deren Lage Abb. 1 zu entnehmen ist.

2 Das Abflussregime der Elbe und seine Veränderungen

Der innerjährliche Abflussgang der Elbe zeigt den typischen Verlauf eines pluvial geprägten Abflussregimes mit Maxima im Frühjahr und Minima im Spätsommer und Herbst. Wie Abb. 2 offenbart, herrscht dabei im Längsverlauf im Grundsatz Einheitlichkeit im Abflussverhalten des Stroms. Diese Aussage gilt mit Ausnahme der Quellregionen und des tidebeeinflussten Mündungsästuars für den gesamten Stromverlauf.

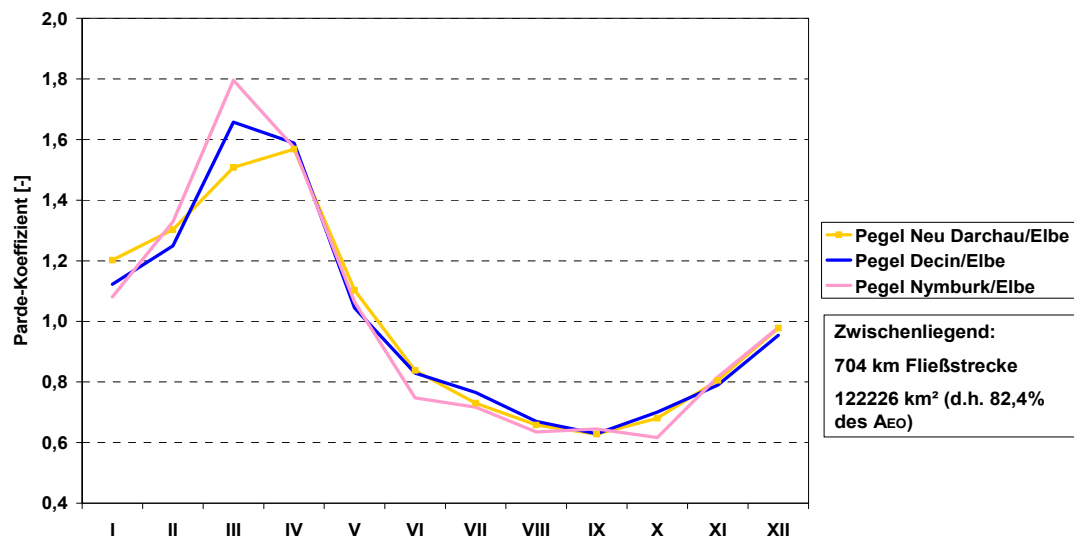


Abb. 2: Abflussregime der Elbe an drei repräsentativen Pegeln. Methode PARDE, Bezugsperiode 1901(1931)-2010

Zur Untersuchung eingetretener Veränderungen im Abflussregime seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Gesamtzeitraum in doppeldekadische Zeitscheiben zerlegt und für diese jeweils eine Ganglinie der monatlichen Abflusskoeffizienten nach PARDE (1947) konstruiert (Abb. 3).

Es offenbart sich keine zeitlich einheitliche Entwicklungsrichtung: Eine mit den 50er-Jahren einsetzende leichte Harmonisierung des Abflussgangs (Verringerung der Spannweiten), welche allerdings im Falle der oberen Elbe (Děčín) deutlicher ausgeprägt ist als an der unteren Mittel-elbe (Neu Darchau), setzte sich in der jüngeren Vergangenheit nicht fort. Vielmehr ist der Zeitraum 1991-2010 durch Zunahme der spätwinterlichen Abflüsse und Abnahme in den Monaten von April bis Juli geprägt; an der oberen Elbe fällt zudem die Ausbildung eines Sekundärpeaks im August auf.

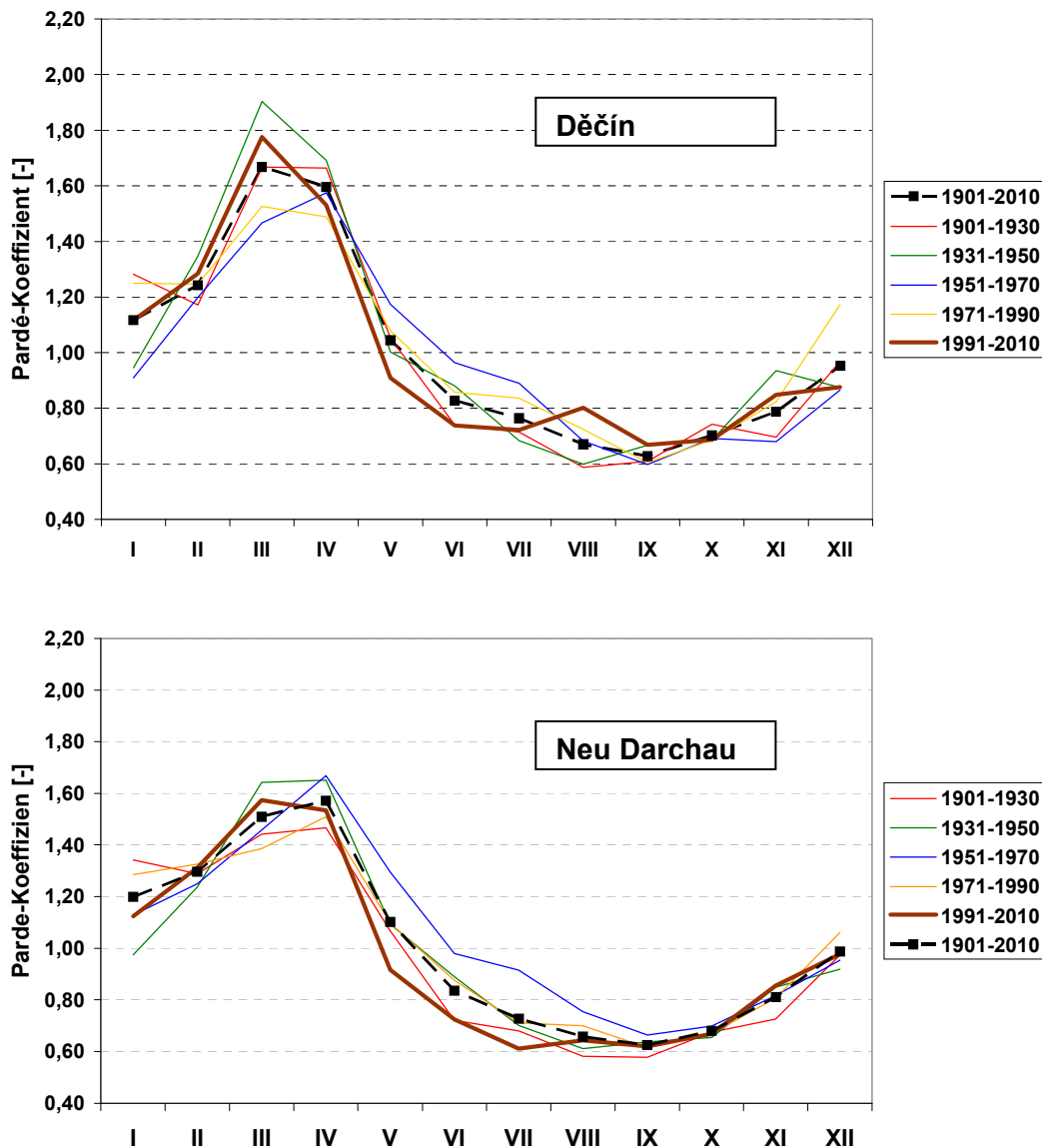


Abb. 3: Elbepegel Děčín (oben) und Neu Darchau (unten): Monatliche Abflusskoeffizienten (PARDÉ 1947) im säkularen Vergleich bei Differenzierung in Doppeldekaden

Die Variationen der Monatsabflüsse haben lediglich saisonalen Umverteilungscharakter und führen nicht zu einer Änderung der jährlichen Abflussvolumina insgesamt: Abbildung 4 zeigt die marginalen Änderungen der Jahres-MQ in der Größenordnung von allenfalls $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Jahr (Vergleich über den Gesamtzeitraum).

3 Sprunghaft eintretende Veränderungssignale

Abrupt auftretende, aber nachhaltig wirkende Veränderungen, die ggf. auf eine gestörte Homogenität der Zeitreihe verweisen, werden als Sprünge oder Bruchpunkte bezeichnet; ein solcher Bruchpunkt trennt zwei statistisch voneinander unterscheidbare Zeitabschnitte voneinander ab. Sprünge sind in der hydrologischen Zeitreihenanalyse häufig Signale für anthropogene Einwirkungen, z. B. infolge von Talsperreninbetriebnahme.

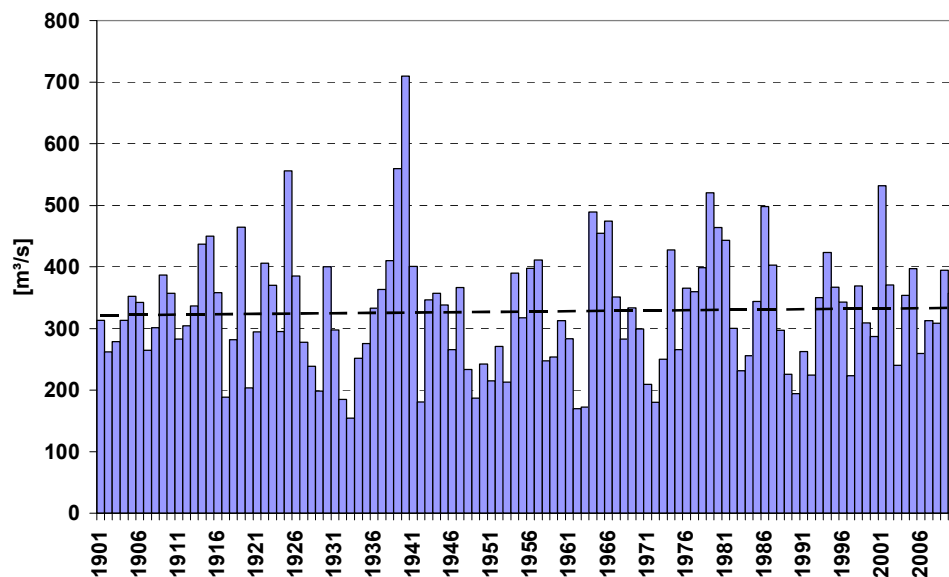


Abb. 4: Mittlere jährliche Abflüsse (MQj) am Pegel Dresden/Elbe (Periode 1901-2010)

Die Untersuchung der jährlichen MQ- und NM7Q-Serien bzw. -Reihen der Pegel Nymburk, Brandýs, Praha, Děčín, Dresden, Barby und Neu Darchau offenbarte die Existenz einer großen Anzahl derartiger Sprünge, die allerdings in den meisten Fällen das gesetzte Signifikanzniveau von 95 % nicht erreichten. Wenngleich in erster Linie signifikante Sprünge als analyserelevant anzusehen sind, bedeuten dennoch auch zeitliche oder räumliche Konzentrationen nicht signifikanter Ergebnisse wichtige Signale. Abbildung 5 zeigt vor diesem Hintergrund das Ergebnis der Häufigkeitsuntersuchung von Bruchpunkten in den o. g. Datensätzen ungeachtet etwaiger Signifikanz: Demnach findet sich die größte Konzentration von Sprüngen im Zeitraum zwischen 1931 bis 1970 (85 % aller Nachweise); im erweiterten Zeitraum 1931 bis 1990 liegen dann 99 % aller identifizierten Bruchpunkte vor.

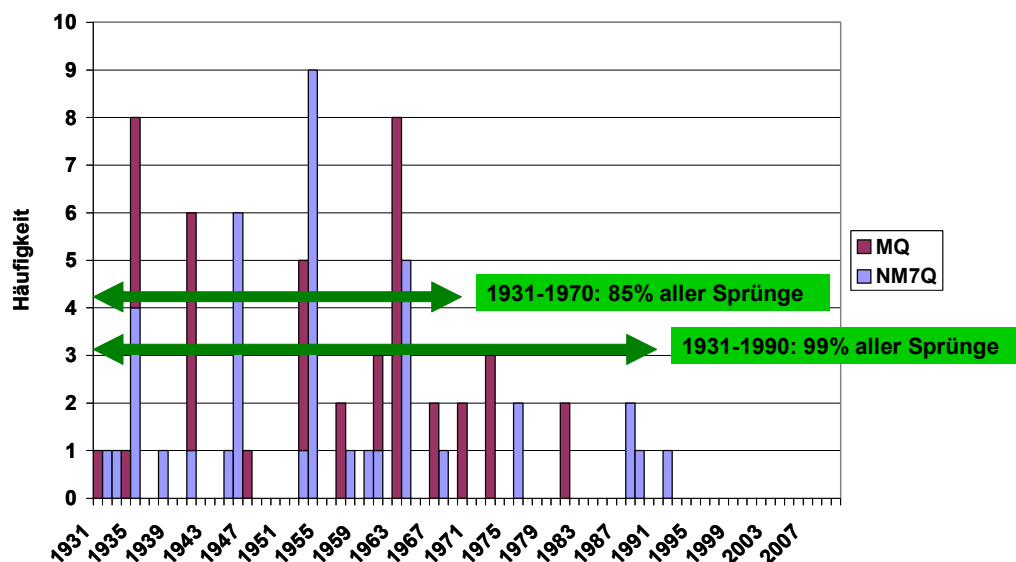


Abb 5: Ausgewählte Pegelreihen MQ und NM7Q im Elbegebiet (Standorte vgl. Abb. 1): Konzentration von Bruchpunkten (Periode 1931-2010, Methoden PETTITT (1979) bzw. BAI & PERRON (1998))

4 Gerichtete Entwicklungen: Trends und Tendenzen ausgewählter Kenngrößen

Trendanalysen haben einen generalisierenden Charakter, der sich mit zunehmender Länge der Untersuchungsperiode verstärkt. Zur Gewinnung eines präziseren Einblicks in eine bestehende Veränderungsdynamik empfiehlt sich daher häufig eine Differenzierung in sinnvoll angelegte Teilperioden, ohne dabei durch zu enge Segmentierung der Zeitreihenkompartimente an Aussagekraft zu verlieren. Vor dem Hintergrund der Resultate o. g. Sprunganalysen wurde eine gestaffelte Trenduntersuchung an den Repräsentativpegeln für die Zeit- bzw. Teilzeiträume 1901/1931/1971/1991-2010 an Elbe und Moldau durchgeführt, um so nicht nur eine Gesamtaussage, sondern darüber hinaus gegebenenfalls auch kurzzeitigere Entwicklungsmodifikationen feststellen zu können.

Signifikante gerichtete Entwicklungen lassen sich in der Regel demnach weder bei den Jahresmitteln des Abflusses noch bei den jährlichen Hochwasserextremen belegen und bei den Niedrigwasserextremen (NM7Q) nur selten (Tabelle 1). Die lediglich festgestellten Veränderungstendenzen, wenngleich für sich genommen statistisch von bestenfalls marginaler Aussagekraft, korrespondieren immerhin mit den Ergebnissen der Abflussregimeanalyse anhand der monatlichen Pardé-Koeffizienten: Tabelle 1 weist Erhöhungstendenz für HQ-Extreme und (überwiegend) Minderungstendenz für Niedrigwasserextreme aus. Dazu passen die Aussagen gemäß Abschnitt 2 (Abb. 3), wonach in jüngerer Zeit die abflussstarken Spätwinter- und Frühjahrsmonate weiteren Zuwachs und die Spätfrühlings- und Frühsommerabflüsse Verringerung erfahren.

Tabelle 1

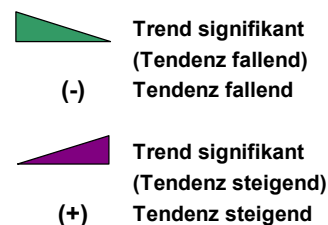
Gestaffelte Trendanalyse jährlicher Hochwasserscheitelabflüsse (HQ), Mittelabflüsse (MQ) und Niedrigwasserextreme (NM7Q) an repräsentativen Pegeln an Elbe und Moldau (Methode FQS, Signifikanztest nach Mann-Kendall, Signifikanzniveau 95 %)

HQ(j) Trend (M-K 95%)

Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(+)
PRAHA (1931-2010)	Moldau		(-)	(+)	(+)
DECIN (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)

MQ(j) Trend (M-K 95%)

Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2010)	Elbe		(+)	(-)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2010)	Elbe		(+)	(-)	(-)
PRAHA (1931-2010)	Moldau		(-)	(+)	(+)
DECIN (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(+)	(-)	(-)	(+)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(-)	(+)	(+)



NM7Q(j) Trend (M-K 95% / autokorrelationsbereinigt)

Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2009)	Elbe		(+)	(-)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2009)	Elbe		(+)	(-)	(+)
PRAHA (1931-2009)	Moldau		(+)	(-)	(+)
DECIN (1901-2009)	Elbe		(+)	(-)	(-)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(-)	(-)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(-)	(-)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(-)	(-)

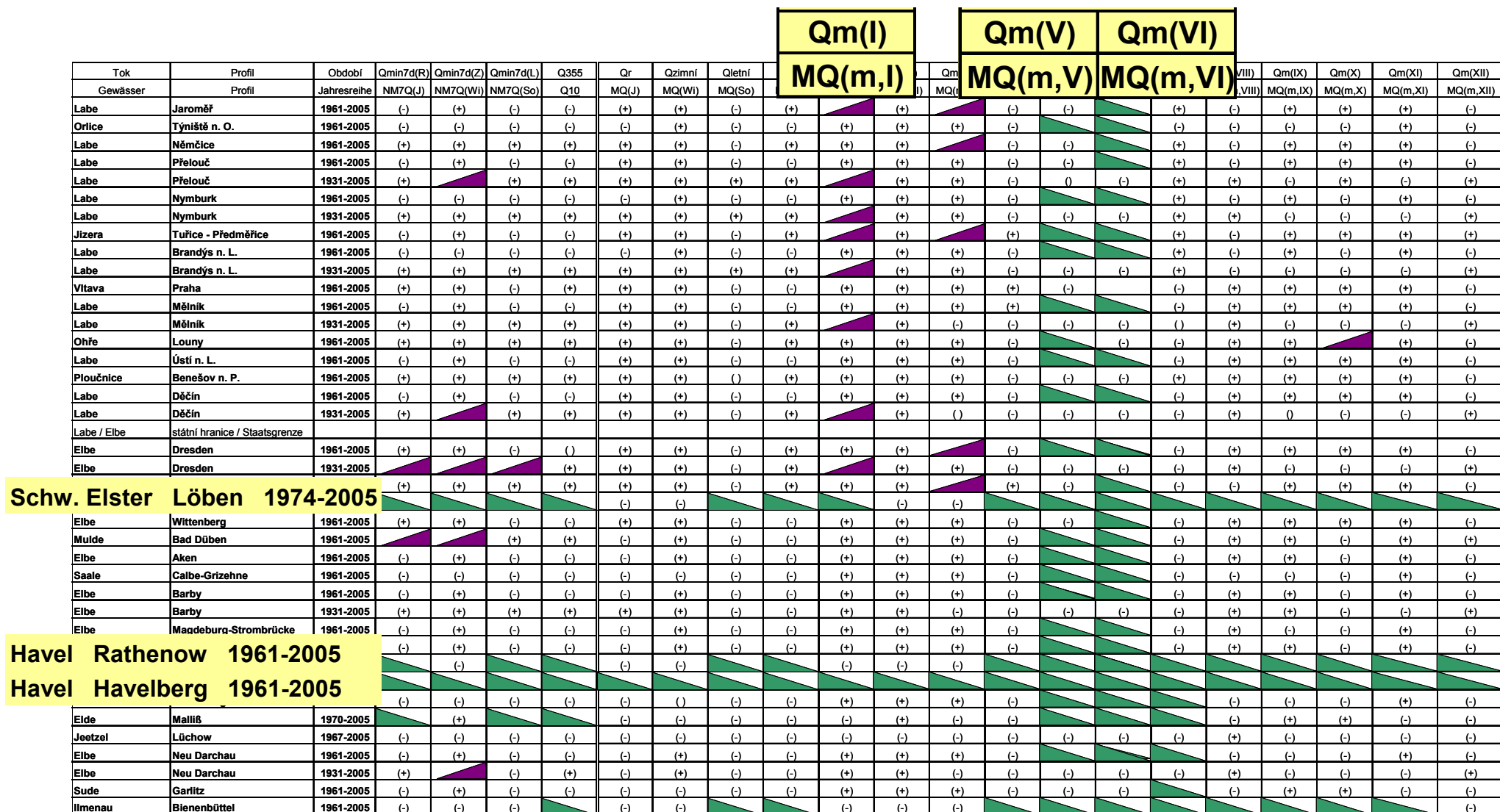


Abb. 6: Elbegebiet: Trendanalyse von Mittel- und Niedrigwasserabflüssen (MQ, NM7Q) nach Jahren, Halbjahren und Monaten (FQS/Mann-Kendall) (nach: IKSE 2012)

In ausgewählten Monaten und in Nebeneinzugsgebieten der Elbe manifestieren sich allerdings markante Veränderungen im Abflussverhalten, abzusichern als signifikante Trends, vor allem in den Abflussreihen bzw. -serien für Mittel- und Niedrigwasser. Wie Abb. 6 zeigt, beschränken sich diese in der Regel

- > einerseits auf einzelne Monate (Zunahmen vor allem im Januar, teils auch im März, Abnahmen im Mai und im Juni,
- > andererseits auf ausgewählte Nebenflüsse auf deutschem Gebiet (vor allem Schwarze Elster und Havel).


5 Variabilität und Saisonalität

Auch die Frage nach Änderungen in der Variabilität des Abflussgeschehens, untersucht mittels Trendanalyse der mittleren absoluten Abweichung (hier der Tageswerte des Abflusses vor dem Hintergrund des Jahresmittel; zum Verfahren vgl. SCHÖNWIESE 1992, S. 35), ergab keine Antworten mit deutlichen Änderungssignalen. An den gleichen Pegelstandorten in analoger Strukturierung der Untersuchungsperioden konnten keine signifikanten Trends, d. h. keine Abgrenzbarkeit der berechneten von der natürlicherweise vorliegenden Variabilität (Tabelle 2), ermittelt werden.


Tabelle 2

Elbe und Moldau: Variabilität der Abflüsse, ermittelt über gestaffelte Trendanalyse der mittleren absoluten Abweichung

Mittlere absolute Abweichung: Trend (M-K 95%)					
Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(-)
PRAHA (1931-2010)	Moldau		(-)	(+)	(+)
DECIN (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(-)	(+)	(+)	(+)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)



(-) Tendenz fallend
Trend signifikant
(Tendenz fallend)



(+) Tendenz steigend
Trend signifikant
(Tendenz steigend)

Der Saisonalitätsindex nach BURN (1994) erlaubt eine Aussage darüber, wann im Kalenderjahr und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein (Hoch- oder Niedrigwasser-)Extremereignis auftritt. Im Ergebnis erhält man das wahrscheinlichste Eintrittsdatum für ein Extremereignis mit einem Stabilitätsmaß dafür, dass das Ergebnis tatsächlich an diesem Tag im Jahr eintritt.

Die entsprechenden Berechnungen wurden für Extremabflussdaten der sieben Repräsentativpegel (s. o.) angestellt. Die Ergebnisse fielen im Grundsatz gleichartig aus, exemplarisch aufgezeigt werden sie an den Resultaten für den Pegel Děčín (vgl. Abb. 7).

Dabei ist grafisch der Jahresverlauf in einem Kreisdiagramm dargestellt, die untersuchten Teilzeiträume unterscheiden sich farblich. Die einzelnen Ereignisse innerhalb dieser Teilzeiträume sind jeweils gemäß ihrem Eintrittsdatum auf der Kreislinie eingetragen. Die Vektoren zeigen zum einen aufgrund ihrer Zielrichtung zur Kreislinie hin das für den jeweiligen Teilzeitraum berechnete wahrscheinlichste Eintrittsdatum von NM7Q- bzw. HQ-Extremen an.

Zum anderen ist die Länge des Vektors der Indikator für die Variabilität des Eintrittsdatums: Die höchste Eintrittswahrscheinlichkeit $p=1$ (d. h. das Ereignis würde mit größter Zuverlässigkeit immer zum selben Zeitpunkt im Jahr eintreten) wird durch eine Vektorlänge entsprechend der vollen Distanz des Kreisradius repräsentiert.

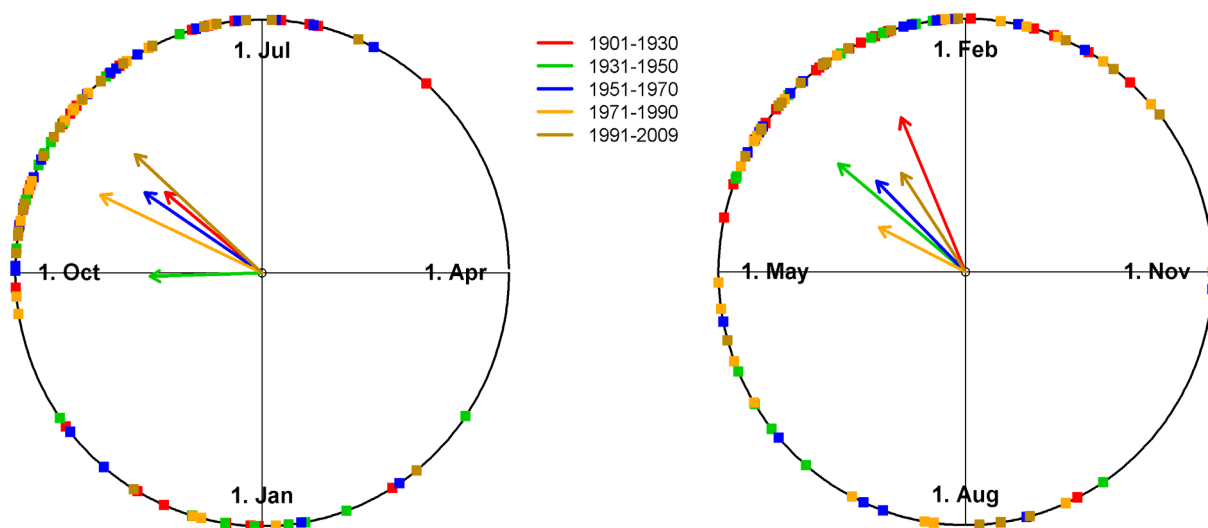


Abb. 7: Veränderung des wahrscheinlichsten Eintrittszeitpunktes von Extremereignissen für definierte Teilzeiträume seit Beginn des 20. Jahrhunderts an der Elbe am Beispiel des Pegels Dčín

In vorliegendem, elbetypischen Fall ist jeweils die terminliche Entwicklung indifferent, d. h. im säkularen Vergleich gibt es keine klaren Hinweise darauf, dass hohe oder niedrige Extremabflüsse regelhaft immer früher oder immer später im Jahr auftreten. Gleichzeitig zeigt sich bei der NM7Q-Kenngröße angesichts deutlich erhöhter Eintrittswahrscheinlichkeiten (grafisch indiziert durch längere Vektoren) zum jeweilig berechneten Termin im August bzw. September eine Verstärkung der saisonalen Bindung von Niedrigwasserextremen. Im Gegensatz dazu nimmt die terminliche Bindung von Hochwasserextremen in den rezenten Zeitabschnitten immer weiter ab, d. h. in jüngerer Zeit muss viel eher damit gerechnet werden, dass Hochwasser zu jeder Zeit im Jahr auftreten kann als ehemals.

6 Attributionsproblematik

Bei der Untersuchung der Gründe für die festgestellten Entwicklungen spielen natürliche Entwicklungen und in hohem Maße auch anthropogene Einwirkungen eine Rolle. Nach IKSE (2012) sind zumindest in den letzten 50 Jahren (außer großräumig steigenden monatlichen Niederschlagssummen im Juli) keine markanten Änderungen im Niederschlagsgeschehen im Elbegebiet eingetreten; diese Aussage entspringt detaillierten Untersuchungen auf Monats-, Halbjahres- und Jahresbasis. Ungeachtet vorhandener temperaturgesteuerter Prozesse wird das Abflussgeschehen natürlicherweise entscheidend vom Niederschlag gesteuert. Insofern verwundert die Aussage aus Abschnitt 2 nicht, wonach an der Elbe keine grundlegenden Änderungen hinsichtlich des jährlichen Wasserdargebotes zu identifizieren sind (ungeachtet bestehender monatlicher bzw. jahreszeitlicher Umverteilungseffekte).

Tabelle 3

Bruchpunkte in Niedrig-, Mittel- und Hochwasserserien bzw.-reihen an repräsentativen Elbe- und Moldaupegeln (signifikante Ergebnisse farblich markiert).

Untersuchungsperiode 1901 bzw. 1931-2010, Methoden PETTITT (1979) sowie BAI & PERRON (1998)

		NM7Q	MQ	HQ
		Year / sig. (95%)	Year / sig. (95%)	Year / sig. (95%)
NYMBURK (1931-2009/10)	Pettitt	1964 (n)	1963 (n)	1973 (n)
	BaiPer 1	1954 (n)	1935 (n)	1995 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1941 (n)	2005 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	1963 (n)	1947 (n)
	BaiPer 4	1989 (n)	1967 (n)	1935 (n)
	BaiPer 5	1976 (n)	1973 (n)	1953 (n)
BRANDYS+KOST (1931-2009/10)	Pettitt	1964 (n)	1963 (n)	1973 (n)
	BaiPer 1	1964 (n)	1963 (n)	1973 (n)
	BaiPer 2	1988 (n)	1967 (n)	1970 (n)
	BaiPer 3	1976 (n)	1947 (n)	1963 (n)
	BaiPer 4	1968 (n)	1935 (n)	1957 (n)
	BaiPer 5	1946 (n)	1941 (n)	1935 (n)
PRAHA (1931-2009/10)	Pettitt	1954 (y)	-	1957 (y)
	BaiPer 1	1954 (y)	1934 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1941 (n)	1973 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	-	1969 (n)
	BaiPer 4	1941 (n)	-	1980 (n)
	BaiPer 5	1960 (n)	-	1997 (n)
DECIN (1901-2009/10)	Pettitt	1954 (y)	1963 (n)	1957 (n)
	BaiPer 1	1954 (n)	1973 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1970 (n)	1973 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	1981 (n)	1970 (n)
	BaiPer 4	1933 (n)	1963 (n)	1963 (n)
	BaiPer 5	1908 (n)	1961 (n)	1981 (n)
DRESDEN (1901-2010)	Pettitt	1964 (y)	1963 (n)	1957 (n)
	BaiPer 1	1964 (y)	1973 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1970 (n)	1973 (n)
	BaiPer 3	1953 (n)	1981 (n)	1970 (n)
	BaiPer 4	1961 (n)	1963 (n)	1963 (n)
	BaiPer 5	1938 (n)	1961 (n)	1912 (n)
BARBY (1901-2010)	Pettitt	1954 (y)	1953 (n)	1957 (n)
	BaiPer 1	1954 (y)	1935 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1941 (n)	1963 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	1927 (n)	1952 (n)
	BaiPer 4	1932 (n)	1953 (n)	1947 (n)
	BaiPer 5	1958 (n)	1957 (n)	1944 (n)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Pettitt	1954 (y)	1953 (n)	1973 (n)
	BaiPer 1	1954 (n)	1935 (n)	1997 (n)
	BaiPer 2	1988 (n)	1941 (n)	2005 (n)
	BaiPer 3	1945 (n)	1931 (n)	1988 (n)
	BaiPer 4	1938 (n)	1953 (n)	1985 (n)
	BaiPer 5	1992 (n)	1957 (n)	1982 (n)

Umverteilungseffekte im innerjährlichen Abflussgang der Elbe (unabhängig, ob sie in den Abflussdaten nun in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten Zeitfenster als signifikante Trends oder lediglich als schwache Entwicklungstendenzen auftreten) sind unter anderem zurückzuführen auf die Einrichtung von Talsperren im Einzugsgebiet. Die Phase stärksten Ausbaus von Speichervolumen im Elbegebiet lag zwischen 1950 und 1980; aktuell beläuft sich der Rückhalteraum hier auf über 4 Mrd. m³. Dabei hat die sogenannte Moldaukaskade, eine Kette von Stauseen in der Moldau oberhalb von Prag, nachweislich einen starken Einfluss auf das Abflussgeschehen von Moldau und Elbe (u. a. IKSE 2005, KOCH et al. 2010,

HATZ & BUSCH 2013). Neben dem signifikant ansteigenden Trend bei den Niedrigwasser-Extremabflüssen am Pegel Děčín unterhalb der Mündung der Moldau in die Elbe (vgl. Tabelle 1) sei in diesem Zusammenhang auf die identifizierten signifikanten Sprünge in den NM7Q-, MQ- und HQ-Serien bzw. Datenreihen in Tabelle 3 verwiesen: Die Terminierung dieser Sprünge korrespondiert gut mit der Phase der iterativen Inbetriebnahme der Moldauspeicher zwischen Mitte der 50er- und Mitte der 60er-Jahre des 20. Jahrhunderts.

Zu erwähnen ist hier allerdings der Umstand, dass allein die Existenz solcher signifikanter Bruchpunkte keinen Beweis für einen existierenden Kausalzusammenhang darstellt. Beispielweise ist auch aus anderen deutschen Stromgebieten bekannt (z. B. am Rhein, vgl. BELZ et al. 2007), dass signifikante Sprünge in (häufig niedrigwasserbezogenen) Abflussdatenreihen auftreten, ohne dass immer eindeutige Ursache-Wirkungs-Beziehungen hierfür aufgezeigt werden konnten.

Ähnliches gilt für den anthropogenen Wirkpfad der Bewirtschaftung der großen Braunkohlentagebaureviere im südlichen Teil des Einzugsgebietes: Auf deutschem wie auf tschechischem Boden bestehen großräumige Braunkohle-Tagebaureviere. Diese wurden bis zur Kulmination in der 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts kontinuierlich ausgeweitet. Dabei musste in großem Umfang Grundwasser zu Tage gefördert und – sofern qualitativ geeignet – mit entsprechend positiven Folgen für das Wasserdargebot in die Oberflächengewässer geleitet werden. Im Zuge der Wiedervereinigung jedoch wurden auf deutschem Gebiet ab 1989 zahlreiche Tagebaue stillgelegt und rekultiviert. Für den Wasserkreislauf bedeutete dies einerseits Wegfall großer Volumina der ehemals eingeleiteten Grundwässer und andererseits Entnahmeverluste zu Zwecken der Anlage von Restseen. Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der Sumpfungswassermengen für das Spree- und Elstergebiet.

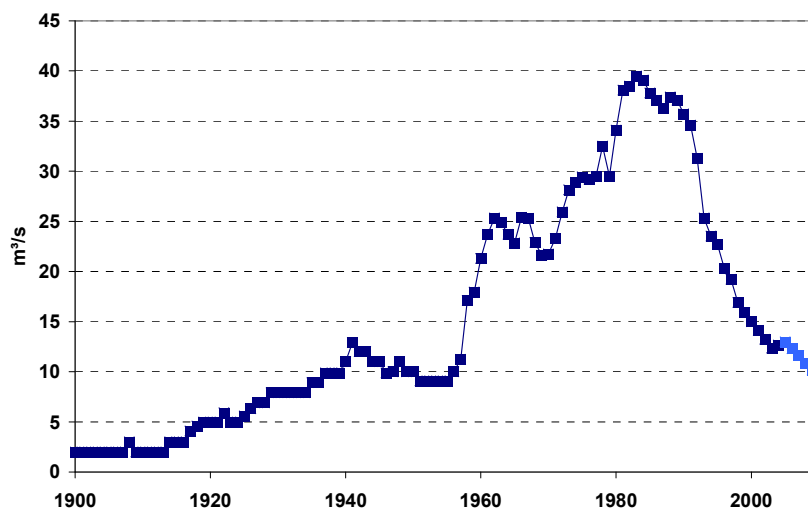


Abb. 8: Sumpfungswassermengen für das Spree- und Elstergebiet aus Braunkohlentagebaurevieren (Quelle Landesumweltamt Brandenburg, ab 2005 Prognosewerte)

Aus dem Wegfall der Zuleitung seit Ende der 80er-Jahre erklärt sich zwanglos die Ausbildung der durchweg negativen Trends in den untersuchten Niedrig- und Mittelwasserdaten in Havel und Schwarzer Elster (Abb. 6). Zudem liegt nahe, dass sich die Zuschusswassermengen und ihre Veränderung zumindest zu Niedrigwasserzeiten auch in der Elbe abbilden.

Statistische Nachweise und Quantifizierungen können hier zum jetzigen Zeitpunkt allerdings für den Elbestrom selbst nicht geführt werden. Demgegenüber zeichnet die NM7Q-Trendanalyse des Pegels Beeskow, gelegen an der Spree im Lausitzer Bergbaugebiet, die Sumpfungs- wässerdynamik deutlich nach (Abb. 9).

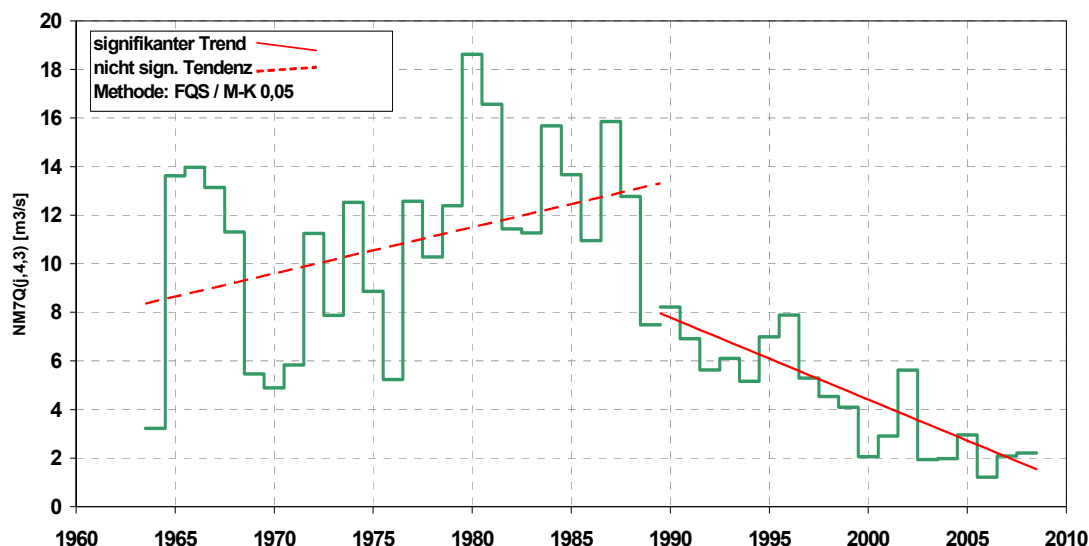


Abb. 9: Pegel Beeskow/Spree: Jährliche Niedrigwasserextreme (NM7Q), bruchpunktdifferenzierte Trendanalyse mit Bruchpunkt 1989 (aus: HORSTEN et al. 2011)

7 Zusammenfassung

Veränderungen im Abflussregime im Elbegebiet seit Beginn des 20. Jahrhunderts existieren in erster Linie in Gestalt von saisonalen Umverteilungen; das Wasserdargebot insgesamt blieb weitgehend stabil. Veränderungen über derartige Umverteilungen hinaus sind statistisch gut für einzelne Nebenflüsse, aber nur selten (und wenn, für Niedrigwassersituationen) für den Elbestrom selbst nachzuweisen. Bei präzisen Quantifizierungen und Attributionsansätzen zur Erklärung identifizierter Entwicklungen ist die klassische statistische Analyse allein oft überfordert. Eine Ergänzung durch geeignete Modellinstrumentarien erscheint nicht allein für die Prognostik, sondern auch zur weiteren Durchdringung des Prozessgefüges erforderlich. Insofern sind Beobachtungen nicht allein der Schlüssel zur Simulation der Zukunft, sondern das notwendige Systemverständnis erwächst aus dem abgestimmten wissenschaftlichen Miteinander aus (Daten-)Grundlagenarbeit, empirischer Analyse und modellgestützten Projektionsansätzen.

Literatur

- BAI, J., P. PERRON (1998): Estimating and testing linear models with multiple structural changes. In: *Econometrica* 66, S. 47-78.
- BELZ, J. U., G. BRAHMER, H. BUI TEVELD, H. ENGEL, R. GRABHER, H. HODEL, P. KRAHE, R. LAMMERSEN, M. LARINA, H.-G. MENDEL, A. MEUSER, G. MÜLLER, B. PLONKA, L. PFISTER, W. VAN VUUREN (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert - Analyse, Veränderungen, Trends. KHR-Bericht I-22, Koblenz & Lelystad.

- BURN, D. H. (1994): Hydrological effects of climatic change in west-central Canada. In: Journal of Hydrology 160, S. 53-70.
- HATZ, M., N. BUSCH (2013): Beeinflussung von Hochwassern der Elbe durch den Betrieb von Talsperren in Tschechien und Thüringen. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 90-95
- HORSTEN, T., P. KRAHE, E. NILSON, J. U. BELZ, A.-D. EBNER VON ESCHENBACH, M. LARINA (2011): Auswirkungen des Klimawandels an der Elbe. In: BMVBS: KLIWAS-Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in deutschland. 2. Statuskonferenz, Berlin, S. 93-97.
- IKSE - Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Magdeburg.
- IKSE - Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2012): Hydrologische Niedrigwasserkenngrößen der Elbe und bedeutender Nebenflüsse. Magdeburg.
- KENDALL, M. G. (1970): Rank correlation methods. 4th edition, London.
- KOCH, H., F. WECHSUNG, U. GRÜNEWALD (2010): Analyse jüngerer Niedrigwasserabflüsse im tschechischen Einzugsgebiet. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 54, H. 3, S. 169-178.
- PETTITT, A. N. (1979): A non-parametric approach to the change point problem. Journal of the Royal Statistic Society Series C, Applied Statistics, 28, pp 126-135.
- PARDE, M. (1947/1964): Fleuves et Rivières. Colin, Paris, 224. S.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1992): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 2. Aufl., Berlin, Stuttgart.

Kontakt:

Jörg Uwe Belz

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5428
Fax: 0261/ 1306 5280
E-Mail: belz@bafg.de

Klimaszenarien für die Tschechische Republik

Jan Pretel

1 Einleitung

In der Tschechischen Republik wurde in den Jahren 2007-2011 das Projekt SP/1a6/108/07 bearbeitet, das vom Ministerium für Umwelt zur Förderung der Grundlagenforschung und der Angewandten Forschung auf dem Gebiet des Klimawandels ausgeschrieben worden war. Das Projekt wurde durch das Tschechische Hydrometeorologische Institut koordiniert; weiterhin waren an dem Projekt die Fakultät für Mathematik und Physik der Karlsuniversität, das Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T.G.M, das Zentrum für Globalen Wandel der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik und das Forschungsinstitut für Pflanzenproduktion beteiligt.

Das Projekt war im ersten Schritt auf die Analyse der Entwicklung der Hauptindikatoren des Klimawandels (Temperatur und Niederschläge) auf dem Gebiet der Tschechischen Republik im Zeitraum 1961-2010 und parallel dazu auf die Präzisierung und Aktualisierung der Szenarien der voraussichtlichen regionalen Klimaentwicklung. Klimas in der kurzfristigen (2010-2039), mittelfristigen (2040-2069) und in der langfristigen (2070-2099) Projektion einschließlich der Analysen der Unsicherheiten der Ergebnisse der Abschätzungen im Hinblick auf die Unsicherheit der Ausgangsdaten und der weiteren Parameter orientiert. Nachfolgend wurden die Ergebnisse der Szenarien für die Abschätzung der wahrscheinlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die hydrologische Bilanz, die Abschätzung der weiteren Entwicklung der mittleren Abflusswerte und der Mindestabflüsse, der Entstehung von Trockenperioden bzw. der Änderung des Hochwasserregimes u. Ä. verwendet. Außer der Nutzung für hydrologische Zwecke wurden die Szenarien auch für Arbeiten auf den Gebieten Landwirtschaft und Forstwirtschaft genutzt. In der letzten Phase des Projekts wurden die Analysen der Entwicklung in den letzten fünfzig Jahren zusammen mit den Ergebnissen der Modellabschätzungen auch dafür verwendet, geeignete Gruppen von Anpassungsmaßnahmen auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft vorzuschlagen, die in einigen Fällen auch von Kosten/Nutzen-Pilotanalysen ihrer voraussichtlichen Wirksamkeit begleitet wurden (PRETEL et al. 2011). Die Ergebnisse des Projekts werden von der staatlichen Verwaltung für die Vorbereitung der nationalen strategischen Dokumente auf dem Gebiet des Klimaschutzes schrittweise genutzt.

2 Präzisierung und Aktualisierung der Szenarien

Die Grundlage des Szenariums des Klimawandels für das Gebiet der Tschechischen Republik sind die Ergebnisse des regionalen Klimamodells ALADIN-CLIMATE/CZ (FARDA et al. 2010) in einer Auflösung von 25 km für den Zeitraum 1961-2100, korrigiert um die Fehler des Modells, die beim Vergleich der Modellsimulation für den Vergleichszeitraum mit den gemessenen Werten identifiziert wurden. Als Hauptelemente für das Szenarium wurden die Mittelwerte der Tagestemperatur, die durchschnittliche tägliche Niederschlagsmenge, die Tagessumme der globalen Strahlung, die durchschnittliche tägliche Windgeschwindigkeit und die relative Luftfeuchtigkeit ausgewählt. Die Auswahl der Elemente resultierte aus den Anforderungen der Fachgebiete, die sich mit Abschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels beschäftigen, sowie aus der Verfügbarkeit der Ergebnisse der regionalen Klimamodelle. Anhand der Tageswerte wurden mit dem Programm ProClimDB (ŠTĚPÁNEK & ZÁHRADNÍČEK 2008) weitere Kenngrößen berechnet, die u. a. auch extreme Klimateigenschaften, z. B. die Anzahl der Tage mit Grenzwerttemperaturen (Sommertage, tropische Tage, Frosttage und Eistage) oder die Anzahl der Tage mit grenzwertigen Niederschlagssummen u. Ä. ausdrücken. Für die Modellabschätzungen der erwarteten Änderungen in der kurzfristigen Projektion wurde das Emissionsszenarium IPCC SRES A1B verwendet, für die mittelfristige und die langfristige Projektion auch die Szenarien IPCC SRES B1 und A2.

2.1 Validierung des Modells

Die Ergebnisse des Modells für den Referenzzeitraum in der Zeitauflösung von 6 Stunden wurden zunächst auf Tagesdaten herunter gebrochen. Berechnet wurden die Tagesmittelwerte, die Maximal- und Minimalwerte der Lufttemperatur, die Tagesniederschlagssummen, die tägliche durchschnittliche Luftfeuchtigkeit und die Tagessumme der globalen Strahlung. Nachfolgend wurde auf der Grundlage des Vergleichs mit den Dateien der gemessenen Stationsdaten, die in das regelmäßige Netz des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ transformiert wurden, die Validierung der gewonnenen Felder durchgeführt.

Die Abweichungen der simulierten saisonalen Mittelwerte der Lufttemperatur von den Beobachtungen im Referenzzeitraum betragen im Sommer und im Winter im größten Teil des Gebietes bis zu 1°C, aber im Frühjahr und im Herbst weist das Modell wesentlich kältere Temperaturen auf als die Beobachtungen (z. B. im Frühjahr vereinzelt um mehr als 3°C). Bei der Modellierung der Entwicklung der atmosphärischen Niederschläge liegen die Werte des verwendeten Modells in allen Jahreszeiten durchschnittlich über den Werten der beobachteten Niederschlagssummen im Referenzzeitraum, im Winter und im Frühjahr stellenweise bis zu 30-40 % (ähnlich verhalten sich auch die anderen regionalen und globalen Klimamodelle). Diese Erkenntnis gilt jedoch nicht für das gesamte Gebiet, da es Teilgebiete gibt, wo umgekehrt die modellierten Niederschläge unterbewertet sind, und zwar vor allem im Winter und im Herbst. Große Abweichungen von den Beobachtungen gibt es vor allem bei der Luftfeuchtigkeit, deren Werte im Modell im größten Teil des Gebietes höher liegen, stellenweise bis zu 30 %. Bei der globalen Strahlung werden die Werte durch das Modell im Sommerhalbjahr überbewertet und im Winterhalbjahr unterbewertet. Bei der Windgeschwindigkeit weist das Modell die Tendenz auf, die beobachteten Werte im Sommer eher niedriger und im Winter eher höher zu bewerten.

2.2 Postprocessing der Modellergebnisse

Da bei der Validierung des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ in den Simulationen der untersuchten Klimaelemente systematische Fehler aufgetreten sind, wurde für die Abschätzungen der Auswirkungen empfohlen, die Modellergebnisse für das künftige Klima entweder relativ zu verwenden (d. h. bei der Lufttemperatur mit den Differenzen zu arbeiten und bei den anderen Elementen mit den Anteilen der Mittelwerte für den neuen Zeitraum und für den Referenzzeitraum) oder Daten zu verwenden, die dem sog. Postprocessing (d. h. der Anwendung der statistischen Korrekturfunktionen) unterzogen wurden.

Im Hinblick auf die geringen Differenzen bei den Ergebnissen der verschiedenen Postprocessingmethoden im Vergleich zu anderen Unsicherheiten wurde die Quantilmethode angewandt, wo für jedes Klimaelement, jeden Tag und jeden Gitterpunkt die Quantilfunktionen der gemessenen und der simulierten Werte im Referenzzeitraum konstruiert wurden. Durch Vergleich der Werte der sich entsprechenden Quantile wurden dann die Korrekturen berechnet, die nachfolgend für den Zeitraum, der das künftige Klima beschreibt, angewandt wurden. Die Fehler des Modells und der Einfluss der Korrektur für die Werte Temperatur und Niederschläge in den einzelnen Jahreszeiten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Korrigierte (T_c , R_c) und nicht korrigierte (T_s , R_s) saisonale Mittelwerte der Modellergebnisse für die Temperatur (T) und die Niederschläge (R) im Vergleich zu den Messwerten (T_{obs} , R_{obs}) im Referenzzeitraum 1961-1990 und ihre Änderungen gegenüber dem Referenzzeitraum (DT_c , DR_c , bzw. DT_s , DR_s) für drei ausgewählte künftige Zeithorizonte.

	1961-1990		2010-2039		2040-2069		2070-2099	
Temperatur								
	T_c-T_{obs}	T_s-T_{obs}	DT_c	DT_s	DT_c	DT_s	DT_c	DT_s
DJF	-0,04	-0,06	1,14	0,90	1,76	1,44	2,83	2,29
MAM	-0,04	-2,26	1,16	0,98	2,59	2,12	3,54	2,87
JJA	-0,03	0,03	1,09	0,90	2,68	2,32	3,96	3,47
SON	-0,01	-1,02	1,16	1,23	1,92	2,04	2,83	3,04
Niederschlag								
	R_c/R_{obs}	R_s/R_{obs}	DR_c	DR_s	DR_c	DR_s	DR_c	DR_s
DJF	0,99	1,32	0,92	0,91	0,91	0,88	0,96	0,94
MAM	0,98	1,33	1,12	1,10	1,00	0,98	1,10	1,07
JJA	0,99	1,07	1,03	1,01	0,99	0,96	0,88	0,86
SON	0,99	1,10	1,08	1,04	1,18	1,13	1,12	1,06

T - Differenz der Werte gegenüber dem Referenzzeitraum, R - Anteil der Werte gegenüber dem Referenzzeitraum

Winter - DJF, Frühjahr - MAM, Sommer - JJA, Herbst - SON

2.3 Szenario der kurzfristigen Projektion (2010-2039)

Dieses Szenario ist nur auf das Emissionsszenario SRES A1B bezogen, da für einen so nahen Zeitraum zwischen den einzelnen SRES-Szenarien nur unbedeutende Unterschiede angenommen werden können. In der kurzfristigen Projektion erhöht sich der Jahresmittelwert der Lufttemperatur auf dem Gebiet der Tschechischen Republik um ca. 1°C, die Erwärmung im Sommer und im Winter ist nur etwas geringer, als die Erwärmung im Frühjahr und im Herbst. Offensichtlich ist die systematische Temperaturerhöhung relativ wenig im Raum veränderlich. Bei den Veränderungen der jahreszeitlichen Niederschlagssummen ist die Situation

komplizierter. In den meisten Knotenpunkten wird im Winter ein Rückgang der künftigen Niederschläge (in Abhängigkeit vom konkreten Standort bis zu 20 %) und im Frühjahr ihr Anstieg (von 2 bis ca. 16 %) simuliert, im Sommer und vor allem im Herbst ist die Situation in den verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebietes unterschiedlich. Im Herbst zeigt sich zum Beispiel an mehreren Orten ein schwacher Rückgang um einige Prozentpunkte, an anderen Orten wiederum ein Anstieg von bis zu 20 bis 26 %, im Sommer überwiegt ein schwacher Rückgang, aber zum Beispiel in Westböhmen ein leichter Anstieg von bis zu 10 %. Die relativ starke räumliche Variabilität der Änderungen des Niederschlagsregimes bedeutet, dass ein etwaiges Klimasignal in diesem Zeitraum von Erscheinungen der natürlichen jährlichen Fluktuationen der Niederschlagssummen (siehe Abb. 1) überlappt werden kann.

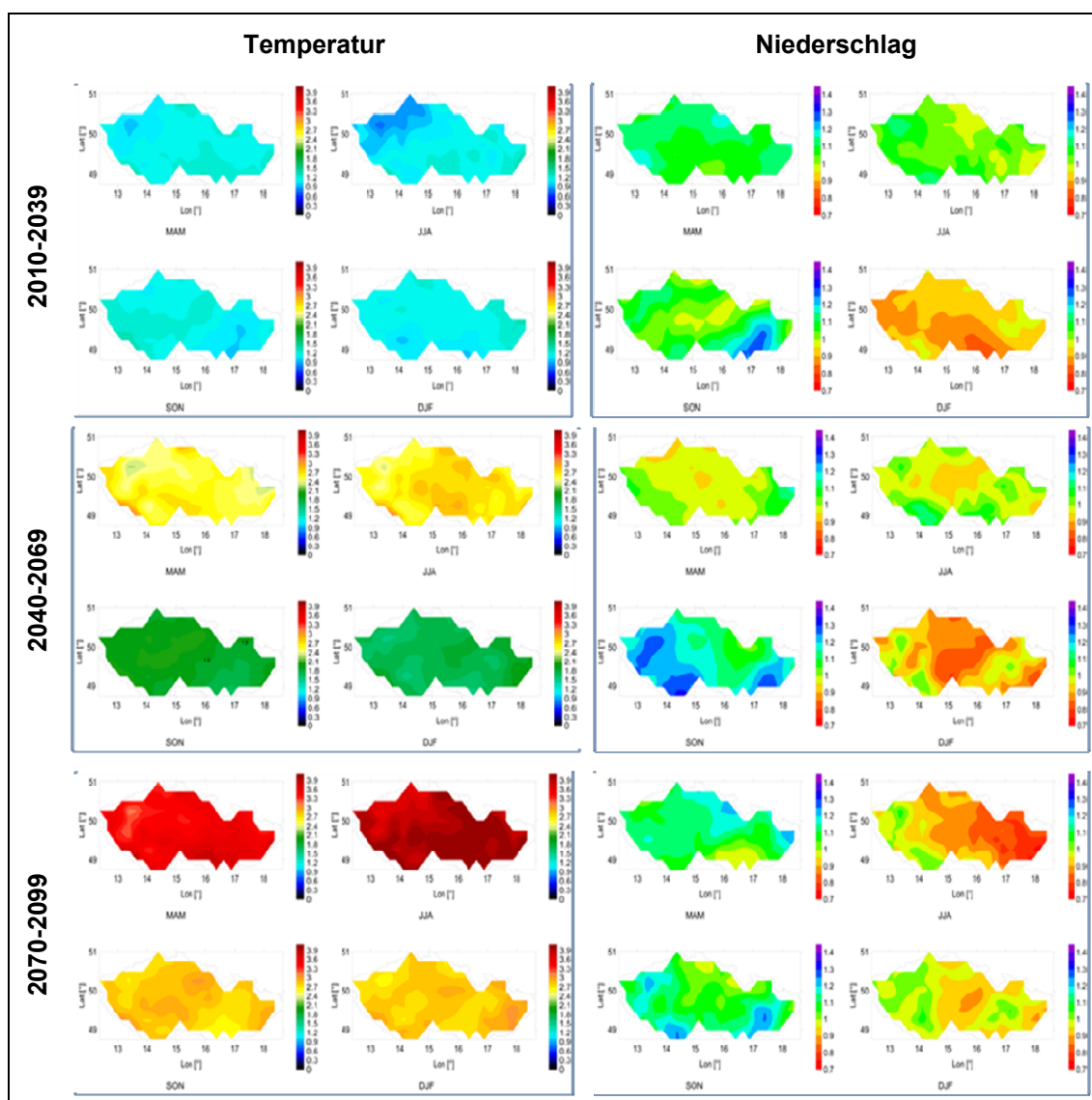


Abb. 1: Differenzen der Tagesmittelwerte der Temperatur (°C) und Anteile der saisonalen Niederschläge, die anhand der korrigierten Daten des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ für die Zeiträume 2010-2039, 2040-2069 und 2070-2099 im Hinblick auf den Referenzzeitraum 1961-1990 im Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON) berechnet wurden.

Im Hinblick auf das schwache Signal der zu erwartenden Änderungen der relativen Luftfeuchtigkeit und nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Tatsache, dass sich im Zeitraum 1961-2000 die Messwerte der relativen Luftfeuchtigkeit nicht geändert haben, wurde empfohlen, bei den Abschätzungen der Auswirkungen für diesen Zeitraum mit den Messwerten der relativen Luftfeuchtigkeit aus dem Referenzzeitraum zu arbeiten. Die simulierten Änderungen der jahreszeitlichen Mittelwerte der Tagessummen der globalen Strahlung sind im Winter am größten (bis zu mehr als 10 %), in den anderen Jahreszeiten liegen sie an den meisten Orten bei Werten bis zu 4 %, dennoch sind im Vergleich mit den Fehlern des Modells die Änderungen der auf die Erdoberflächen auftreffenden globalen Strahlung gering. Für die Arbeit bei der Anwendung dieser Daten gilt die gleiche Empfehlung wie bei der relativen Luftfeuchtigkeit.

2.4 Szenarien der mittelfristigen (2040-2069) und der langfristigen (2070-2099) Projektion

Für die mittelfristige Projektion ist die simulierte Erwärmung ausgeprägter, am stärksten steigen die Lufttemperaturen im Sommer (um 2,7°C), am wenigstens im Winter (um 1,8°C). Erwähnenswert ist die Temperaturerhöhung im August um fast 3,9°C. In den einzelnen Gitterpunkten können sich die Werte der Änderungen im Frühjahr und im Sommer im Bereich von 2,3°C bis 3,2°C bewegen, im Herbst von 1,7°C bis 2,1°C und im Winter von 1,5°C bis 2,0°C. In der langfristigen Projektion liegt die Temperaturerhöhung bei ca. 4°C (3,5 bis 4,7°C), im Herbst und im Winter ist die Temperaturerhöhung geringer, und zwar um 2,8°C (2,6 bis 3,1°C).

In der mittelfristigen Projektion sind der Rückgang der Niederschläge im Winter (z. B. Riesengebirge, Böhmisches-Mährisches Hochland (Vysočina), Beskiden bis zu 20 %) und ihr Anstieg im Herbst sichtbar. Im Sommer beginnt der Rückgang der Niederschläge zu dominieren, der in der langfristigen Projektion noch stärker ist, während der Rückgang der Niederschlagssummen im Winter im Vergleich zu dem vorhergehenden Zeitraum geringer sein wird (siehe Abb. 1). Die Änderungen der relativen Luftfeuchtigkeit sind gering, dennoch signalisiert das Modell für alle Jahreszeiten und Projektionen Abnahmen – im Winter um bis zu 5 %, im Sommer 5-10 % und für das Ende des 21. Jahrhunderts an einigen Orten bis zu 15 % (ein Teil Mittelböhmens, Böhmisches-Mährisches Hochland (Vysočina)). Diese Erkenntnis stimmt mit der voraussichtlichen Erhöhung der Lufttemperatur und dem Rückgang der Niederschlagssummen überein.

Diese Ergebnisse beziehen sich auf das Emissionsszenario SRES A1B, nichtsdestotrotz hat sich das Projekt für diese beiden Querschnittszeiträume auch mit Simulationen nach den Emissionsszenarien SRES B1 und A2 befasst (PRETEL et al. 2011).

3 Schlussbetrachtung und Bemerkungen zur Zuverlässigkeit des regionalen Szenarios

Die Unsicherheiten der im Rahmen des Projekts durchgeführten Szenario-Modellsimulationen haben im Prinzip drei Quellen – (a) Unsicherheit des Emissionsszenarios, (b) Unsicherheit des globalen Leitmodells und (c) Unsicherheit des eingebetteten regionalen Modells. Die Simulationen mit Hilfe des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ wurden für das Emissions-

szenario SRES A1B, das als eines der mittelfristigen Szenarien gilt, durchgeführt. In den Modellergebnissen zeigen sich die Unterschiede zwischen den Szenarien für die kurzfristige Projektion und in einem großen Maße auch für die mittelfristige Projektion nicht allzu stark, die Abhängigkeit vom Emissionsszenario wird erst für die langfristige Projektion deutlich, und zwar praktisch nur bei der Temperatur (die größten Änderungen von den beurteilten Szenarien für A2, kleinere für A1B und die geringsten für B2). Bei den Änderungen der Niederschläge gibt es keine stärkere Abhängigkeit vom Emissionsszenario.

Die Streuung der Änderungen zwischen den einzelnen regionalen Klimamodellen – ebenso wie zwischen den einzelnen globalen Klimamodellen – erhöht sich schrittweise mit dem zunehmenden Zeithorizont. Analysen haben gezeigt, dass die globalen Modelle in der Regel eine größere Unsicherheit als die darauf aufbauenden regionalen Modelle einbringen.

Im Vergleich mit anderen regionalen Modellen für das Szenario A1B kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Anwendung des Modells ALADIN-CLIMATE/CZ für die Abschätzung des Klimawandels in der kurzfristigen Projektion vom Kontext der anderen regionalen Modelle nicht grundsätzlich abweichen. Die Ergebnisse der Anwendung für die mittelfristige und die langfristige Projektion unterscheiden sich jedoch vor allem im Winter stärker von den Kennwerten der anderen Modelle. Sie zeigen systematisch einen geringeren Temperaturanstieg, eher einen Rückgang der Niederschläge und einen Anstieg der globalen Strahlung, was nicht ganz in den Kontext der anderen Modelle passt. Die Ursache kann im Vergleich zu den anderen regionalen Modellen eine höhere simulierte Antizyklonalität im Winter sein. Deshalb weisen die Szenarien des Modells für den Winter im Vergleich zu den anderen Jahreszeiten eine höhere Unsicherheit auf.

Im Hinblick auf die genannten Unsicherheiten und ihre Ursachen scheint es, dass es für die praktische Nutzung der Ergebnisse der Simulationen der Auswirkungen des Klimawandels offensichtlich günstiger ist, die Modellabschätzungen der künftigen Entwicklung für einen relativ kurzen Zeitraum (20 bis 30 Jahre) durchzuführen und sie schrittweise zu präzisieren. Die neuen Simulationen können sich dann auf aktuellere und realistischere Emissionsszenarien und qualitativ bessere globale und regionale Modelle stützen. Das kann für die praktische Anwendung der Simulationsergebnisse für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts den Grad der vorhandenen Unsicherheiten reduzieren.

Danksagung

Der Beitrag wurde mit Unterstützung des Projektes der Technologie-Agentur der Tschechischen Republik TA 02020320 „Unterstützung der langfristig vorgeschlagenen und geplanten Anpassungsmaßnahmen in der Wasserwirtschaft im Kontext des Klimawandels“ realisiert.

Literatur

- FARDA, A., M. DÉUÉ, S. SOMOT, A. HORÁNYI, V. SPIRIDONOV, H. TÓTH (2010): Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54, 313-332.
- PRETEL, J. et al. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07, ČHMÚ, Praha
(http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_10_Zmena_klimatu/P4_1_10_6_Projekt_VaV&last=false)

ŠTĚPÁNEK, P., P. ZAHRADNÍČEK (2008): Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961-2007. In: Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25. - 30. May 2008), WCDMP, WMO.



Kontakt:

Jan Pretel

Tschechisches Hydrometeorologisches Institut
Na Šabatce 17
CZ-143 06 Prag 4
Tel.: +420 24306 2414
Fax: +420 24306 2415
E-Mail: pretel@chmi.cz

1960-1966

Studium in der Fachrichtung Meteorologie und Klimaforschung an der Karlsuniversität Prag

1967-1990

Institut für Physik der Atmosphäre der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, wissenschaftlicher Mitarbeiter

1990-1991

University of British Columbia, Dept. of Geography, B. C., Canada, visiting scientist

1991-1993

Ministerium für Umwelt der Tschechischen Republik, Spezialist auf dem Gebiet Luftreinhaltung

Seit 1993

Tschechisches Hydrometeorologisches Institut, Referatsleiter Klimawandel, seit 2012 wissenschaftlicher Sekretär

Wichtige Projekte/Aktivitäten:

- 1991-1997: EU/WMO/IAEA Projekt „*European Tracer Experiment (ETEX)*“, Mitglied des internationalen Lenkungsausschusses
- 1997-2001: Mitglied des IPCC-Büros (*IPCC TAR*)
- 1999-2000: PHARE Project „*Estimate of the Economic Cost for the Reduction of GHG Emissions*“, Projektmanager
- 2001-2005: Ministerium für Umwelt: Projekt „*Nationales Programm zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels in der Tschechischen Republik*“, Projektmanager
- 2007-2011: Ministerium für Umwelt: Projekt „*Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen*“, Projektmanager

Hydrometeorologische Referenzdaten und aufbereitete Klimaprojektionen für die hydrologische Modellierung

Ulf Riediger, Sabrina Plagemann, Florian Imbery, Monika Rauthe,
Joachim Namyslo und Annegret Gratzki

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – wird innerhalb des Vorhabens 1, „Validierung und Bewertung der Klimaprojektionen – Bereitstellung von Klimaszenarien für den Wirkungsbereich Schifffahrt und Wasserstraßen“, die Datenbasis für belastbare Bewertungen des Klimawandels und dessen Einfluss auf Oberflächengewässer erstellt. Das beinhaltet sowohl meteorologische Referenzdaten auf der Grundlage von Messwerten als auch die Beurteilung und Bereitstellung der Klimamodellrechnungen für verschiedene Klimaszenarien.

Zur Quantifizierung statistischer Unsicherheiten der Modellierungsergebnisse werden Vergleiche und Bewertungen mit den Klimaprojektionen unterschiedlicher Modelle durchgeführt. Darüber hinaus werden verschiedene spezielle Datenauswertungen im Hinblick auf eine belastbare Quantifizierung der Klimawirkungen für den Wasserbereich erforderlich. Die Erweiterungen vorhandener Produkte des Deutschen Wetterdienstes (DWD) werden den Bedarf der Wasserbehörden im Bereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Hinblick auf mögliche Folgen des Klimawandels für die Binnenschifffahrt sowie für die Flusseinzugsgebiete abdecken.

2 Ziele

- > Erstellen geeigneter Rasterdatensätze auf Basis von Beobachtungsdaten für die vollständigen Einzugsgebiete von Rhein, Elbe und Oberer Donau einschließlich der jeweiligen im Ausland liegenden Teileinzugsgebiete zur Validierung der Klimamodelle
- > Analyse des bisher beobachteten Klimawandels in den hydrologischen Einzugsgebieten
- > Überprüfen, verifizieren und bestimmen der Fehlerbreiten für die verwendeten regionalen Klimasimulationen anhand eines Vergleichs der Modellergebnisse im Kontrollzeitraum mit Referenzdaten
- > Analyse und Darstellung des Unsicherheitsbereichs der Klimaprojektionen und der daraus abgeleiteten Klimaänderungssignale

3 Umsetzung

Belastbare Aussagen über das Ausmaß der zu erwartenden Klimaveränderungen und die erforderlichen Vulnerabilitätsanalysen sind nur auf der Basis klar definierter Referenzdaten möglich. Ein großer Teil der für die Erstellung von Referenzdatensätzen benötigten Messdaten wurden von den Wetterdiensten der Nachbarländer beschafft. Für Deutschland werden die Daten aus dem Klimaarchiv des DWD verwendet.

Das Ziel ist die Erzeugung von hydroklimatischen Rasterdaten auf täglicher Basis in hoher räumlicher Auflösung, die eine Qualitätskontrolle der Daten (z. B. Ausreißer, Homogenität) sowie eine Fehlerbetrachtung der regionalisierten Datensätze (RAUTHE et al. 2013) beinhaltet. Für den Binnenbereich des KLIWAS-Untersuchungsgebietes stehen regionalisierte Tagesdatensätze (HYRAS) für Niederschlag, Lufttemperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung zur Verfügung. Eine klimatologische Auswertung von hydrologisch relevanten Kenngrößen (z. B. Mittelwerte, interannuelle Variabilität, Anzahl der Trockentage oder Starkregenereignisse, etc.) liefert Ergebnisse für die Bewertung des rezenten Klimas und dessen Veränderlichkeit im Kontrollzeitraum 1951-2006 (MAZURKIEWICZ 2011).

Zurzeit stehen dem DWD 35 Klimaprojektionen für das A1B-Szenario aus 6 globalen Klimamodellen (mit insgesamt 10 Realisierungen) und 12 regionalen Klimamodellen (mit teilweise unterschiedlichen Versionen) zur Verfügung. Die Klimaprojektionsdaten stammen aus der Datenbank des EU-FP6-Projektes ENSEMBLES sowie der CERA-Datenbank des DKRZ. Neben der Akquise dieser Datenpakete ist die Aufbereitung und Bereitstellung der Klimaprojektionsdaten für die Wirkmodellierung eine Hauptaufgabe in Vorhaben 1.

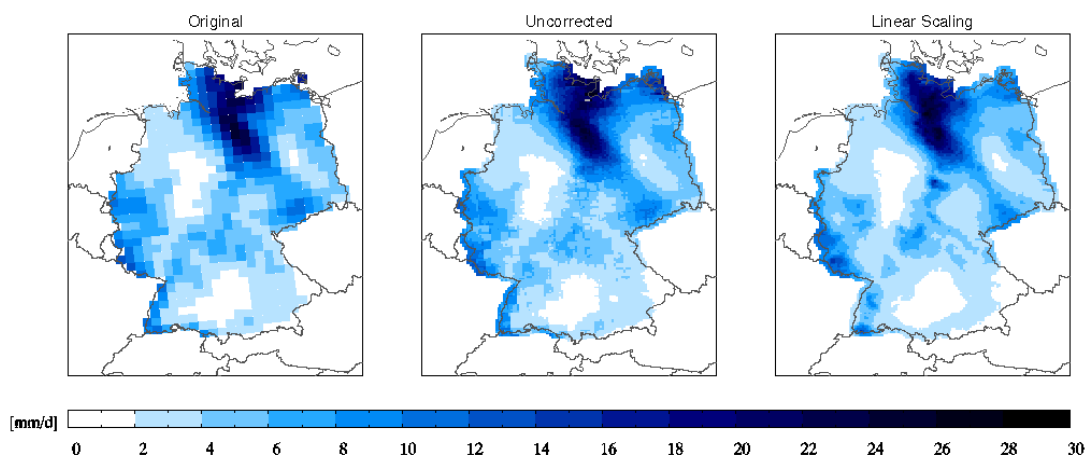


Abb. 1: Niederschlagsdatensatz der regionalen Klimaprojektion A1B_ECHAM5r3_REMO5.7 (03.11.1980) in der 25 km x 25 km Originalauflösung (links), regionalisiert (Mitte) und linear biaskorrigiert (rechts) in der 5 km x 5 km Referenzauflösung

Postprozessierte, hoch aufgelöste Simulationsdaten (5 x 5 km²) wurden für die Parameter Niederschlag, Lufttemperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung erstellt. Hierzu wurden verschiedene Downscaling-Verfahren inklusive Biaskorrekturvorschriften (z. B. Linear Scaling, Quantile Mapping und Wetterlagen-Ansatz) auf die simulierten Daten der regionalen Klimamodelle angewendet (Abb. 1). Die Erhaltung der zeitlichen und räumlichen Konsistenz

der betrachteten Parameter bleibt Schwerpunkt bei der Ableitung dieser Verfahren. Die Validierung der Simulationen innerhalb des Kontrollzeitraumes erfolgt durch den Vergleich zu den regionalisierten Beobachtungsdaten (IMBERY et al. 2013).

Für die Auswertung von Änderungssignalen von Klimaprojektionen sowie der Bestimmung von Unsicherheiten wurden Ensembleauswertungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Auswertungen können z. B. mit Perzentilkarten dargestellt werden (Abb. 2). Parallel dazu sind Evaluierungen der Simulationsgüte regionaler Klimamodelle unerlässlich. Umfangreiche Vergleiche wurden auf Basis von Rasterwerten und Einzugsgebieten erarbeitet. Zusätzlich wurden die Wetterlagen der globalen Klimamodelle untersucht, inwieweit diese eine verzerrte Simulation markanter Strömungen der Atmosphäre zeigen, die zu einer Ungenauigkeit meteorologischer Parameter führen kann (RIEDIGER 2013).

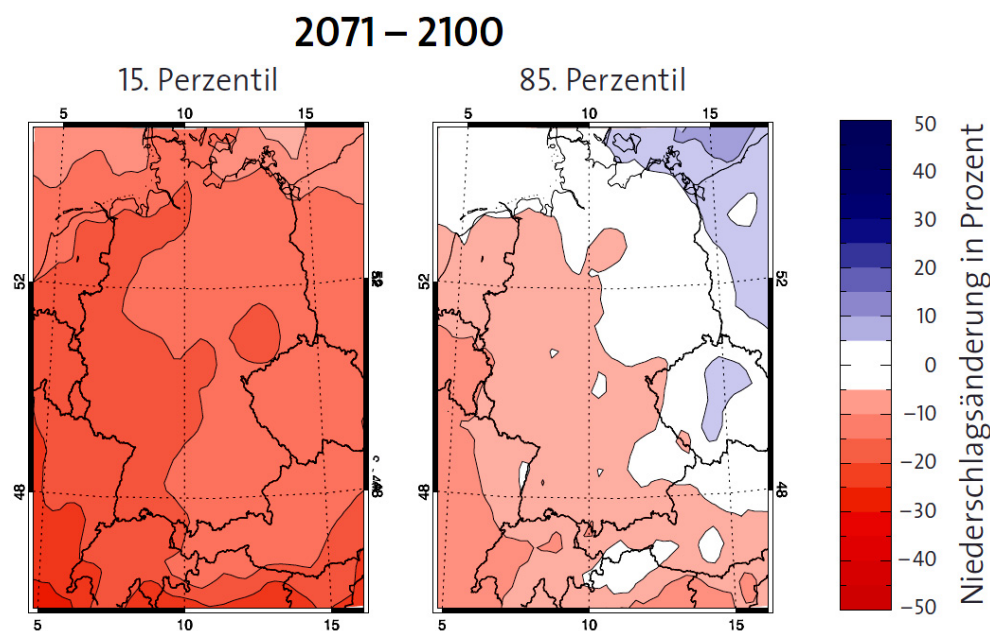


Abb. 2: Projizierte prozentuale Änderung der mittleren Sommerniederschläge für den Zeitraum 2071-2100 aus einem Klimamodellensemble (Die Spannbreite zwischen dem 15. Perzentil und 85. Perzentil zeigt die Unsicherheiten der Modelle bei der Berechnung des simulierten Klimasignals.)

4 Ergebnisse

Die rezenten Veränderungen der Niederschlagsmengen über den Zeitraum von 1951-2006 zeigen für die Jahreszeiten unterschiedliche Trends (Abb. 3). Während im Winterhalbjahr die mittleren Niederschlagsmengen deutlich zunahmen, kam es im Sommerhalbjahr zu einer leichten Abnahme. Am stärksten sind die winterlichen Trends in Nordwestdeutschland mit bis zu 32 %. Übrige Landesteile sind durch moderate Zunahmen von 8 bis 20 % gekennzeichnet. Eine leichte Abnahme von Trockentagen ist im Winter festzustellen (mit bis zu 10 % in Süddeutschland). Im Sommer ist das Bild nicht eindeutig. Häufig sind negative Trends mit schwachen Signifikanzen zu erkennen. Im deutschen Elbeeinzugsgebiet ist es im Mittel zu Abnahmen der Niederschlagsmengen von 12 % gekommen.

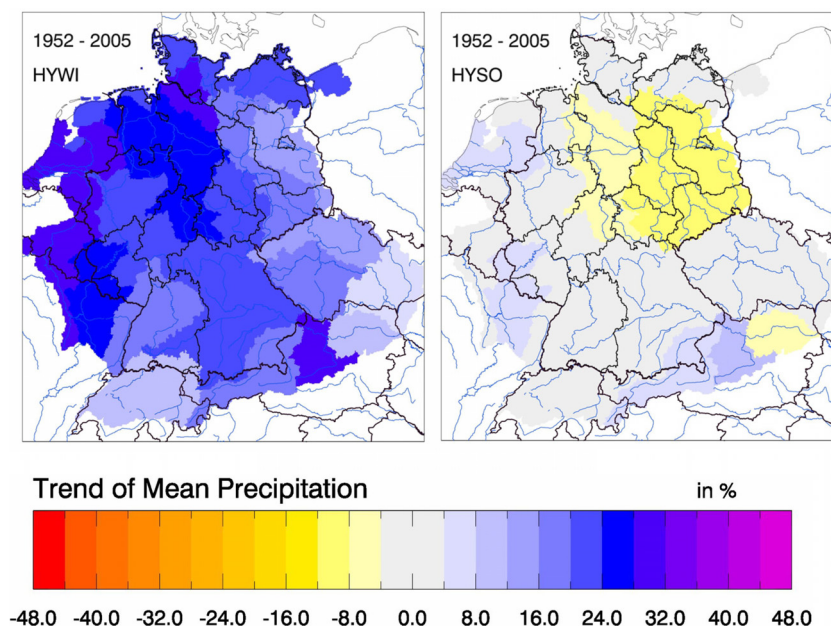


Abb. 3: Relative Trends der mittleren Niederschläge pro Einzugsgebiet zweiter Ordnung für den Zeitraum 1952-2005 im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April, links) und im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober, rechts)

Für die Änderung des Jahresmittels der Lufttemperatur für den Zeitraum 2021-2050 ist für Deutschland eine Zunahme von mindestens 0,5 °C wahrscheinlich. Dabei ist eine Temperaturzunahme um mehr als 2 °C (Norddeutschland) bzw. 2,5 °C (Süddeutschland) eher unwahrscheinlich.

Für den Zeitraum 2071-2100 kann eine Erhöhung der mittleren Lufttemperatur von mindestens 1,5 °C und maximal 3,5 °C in Norddeutschland bzw. 4 °C in Süddeutschland als wahrscheinlich angesehen werden.

Die jahreszeitlich unterschiedliche Entwicklung der Niederschläge erfordert eine differenzierte Betrachtung. Allgemein zeigt sich eine Tendenz zur Niederschlagsabnahme in den Sommermonaten, während in den Wintermonaten eine Niederschlagszunahme wahrscheinlich ist. Die projizierten relativen Änderungen des mittleren Sommerniederschlags weisen eine Spanne zwischen einer sehr geringen und einer Abnahme von bis zu 15 % für den Zeitraum 2021-2050 und bis zu 25 % für den Zeitraum 2071-2100 aus. Einige wenige Klimamodelle zeigen für vereinzelte Regionen auch eine leichte Zunahme der Sommerniederschläge.

Die Modellrechnungen lassen für den Zeitraum 2021-2050 eine eher geringe Zunahme der Winterniederschläge erwarten, die Werte von 10 % wahrscheinlich nicht überschreiten werden. Auch für den Zeitraum 2071-2100 ist eine Zunahme von mehr als 15 % unwahrscheinlich.

Die Kennzahl für "heiße Tage" stellt mit einer Auszählung der Tage mit Tagesmaxima von mindestens 30 °C eine Maßzahl für ein extremes "Wetter" bzw. hohe Wärmebelastung für den Menschen dar. Sowohl für den Zeitraum 2021-2050 wie auch 2071-2100 ist es wahrscheinlich, dass die Anzahl "heißer Tage" zunehmen wird. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts ist es dabei wahrscheinlich, dass eine Zunahme um 5 bis 10 heiße Tage in Norddeutschland

bzw. 10 bis 15 heiße Tage in Süddeutschland nicht überschritten wird. Für das Ende des Jahrhunderts ist eine maximale Zunahme von 10 bis 15 Tagen (Norddeutschland) bzw. 30 bis 35 Tagen (Südwestdeutschland) wahrscheinlich. Den Projektionen einzelner Klimamodelle zufolge besteht jedoch auch eine geringe Wahrscheinlichkeit dafür, dass für den gesamten betrachteten Zeithorizont die Zahl der heißen Tage in Deutschland im Wesentlichen unverändert bleibt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Bevor die Auswirkungen des Klimawandels auf Gewässer abgeschätzt werden können, ist es notwendig, die regionalen Klimaänderungen in ihrer nach heutigen Kenntnissen möglichen Bandbreite zu kennen. KLIWAS bedient sich deshalb des Multi-Modell-Ansatzes. Der Deutsche Wetterdienst stellt Wirkmodellierungen verschiedener Fachrichtungen aufbereitete und korrigierte Klimaprojektionen zur Verfügung und quantifiziert Unsicherheiten insbesondere hydrometeorologisch relevanter Parameter. Mit einem ausreichend großen Ensemble aus Klimaprojektionen und den regionalisierten Referenzdaten ist es möglich, statistische Aussagen über zukünftige Klimazustände zu treffen.

In der letzten Dekade konnten neue Erkenntnisse in dem Bereich mögliche globale Entwicklungen der Sozioökonomie und Technologie im 21. Jahrhundert gewonnen werden. Ebenso wurden die Möglichkeiten, räumlich und sektoriell hoch aufgelöste zukünftige Szenarien zu simulieren, verbessert. Für den 5. Sachstandsbericht (geplante Publikation im Jahr 2014) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) konnten auf dieser Grundlage neue Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre entwickelt werden, die sogenannten RCP (Representative Concentration Pathways). Derzeit werden auf der Basis der mit den RCP-Szenarien angetriebenen Globalmodelle neue regionale Klimaprojektionen gerechnet, die im Laufe des Jahres 2013 verfügbar sein werden und anschließend unter anderem auch in der Klima- und Umweltberatung des DWD genutzt werden sollen.

Literatur

- IMBERY, F., S. PLAGEMANN, J. NAMYSLO (2013): Processing and Analyzing an Ensemble of Climate Projections for the Joint Research Project KLIWAS. *Advances in Science and Research*, subm.
- MAZURKIEWICZ, A. (2011): Climatological and Hydrological Analysis of Precipitation Characteristics in Germany and Central European Catchment Basins. Master Thesis, University of Reading.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. MAZURKIEWICZ, A. GRATZKI (2013): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins – part I: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results. *Meteorologische Zeitschrift*, subm.
- RIEDIGER, U. (2013): Future Weather types and their influence on mean and extreme precipitation and temperature indices. *Meteorologische Zeitschrift*, in prep.



2001-2008

Studium Physische Geographie, Meteorologie und
Hydrologie an der Universität Frankfurt

seit 2009

Wissenschaftlicher Angestellter des Deutschen
Wetterdienstes, Abteilung Hydrometeorologie

Projektbearbeitung:

2009-2013: KLIWAS – Vorhaben 1, Projekt
1.01: Klimatologische Analyse ob-
jektiver Wetterlagen auf Basis von
Reanalyse und Klimaprojektionen

Kontakt:

Ulf Riediger

Deutscher Wetterdienst

Frankfurter Str. 135

63067 Offenbach

Tel.: + 49 69 8062 2056

E-Mail: Ulf.Riediger@dwd.de

Erwartete Änderungen des Wasserhaushalts bei Hochwasser und bei Niedrigwasserständen an tschechischen Flüssen im 21. Jahrhundert

Jan Daňhelka und Bohuslava Kulasová

1 Einleitung

In den Jahren 2007-2011 wurde im Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ) das Förderprojekt VaV SP/1a6/108/07 „Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels in der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen“ bearbeitet. Im Rahmen des Projektteils „Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Extremerscheinungen“ wurden zwei Hauptthemen festgelegt: Beurteilung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die maximalen Abflüsse (Bearbeiter Daňhelka und Kollektiv) und Beurteilung der Auswirkungen der angenommenen Klimaszenarien auf die Mindestabflüsse (Bearbeiter Kulasová und Kollektiv).

2 Trends ausgewählter Abflusskennzahlen

Im Rahmen der Arbeiten wurden die Trends des Verhaltens der mittleren Abflüsse und der Mindestabflüsse an 150 Pegeln in den beobachteten Abflussreihen (1961-2005) ausgewertet, die durch den Betrieb von Stauanlagen und Wasserentnahmen nicht wesentlich beeinflusst werden. Für die Berechnung der Trendsignifikanz wurde ein modifizierter Mann-Kendall-Test bei einem Signifikanzniveau von 0,1 bis 0,05 verwendet.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass, obwohl es im mittleren Jahresabfluss zu keinen ausgeprägten Änderungen kommt, bei den vieljährigen monatlichen Abflusswerten bestimmte Änderungen zu beobachten sind. Einen statistisch signifikant zunehmenden Trend zeigen die Monate Januar, Februar und März (vorwiegend in den Bergregionen und im Gebirgsvorland), demgegenüber weisen die Monate Mai und Juni einen statistisch signifikant fallenden Trend auf. Bei den Kennzahlen der Mindestabflüsse (Q_{330d} , Q_{355d} und Q_{364d} und der 7-Tage-Mindestabflüsse) und des Wasserdefizits wurden signifikante Trends allerdings nur ausnahmsweise identifiziert.

Die Trends ausgewählter Abflusskennzahlen sind in Abb. 1 und 2 dargestellt.

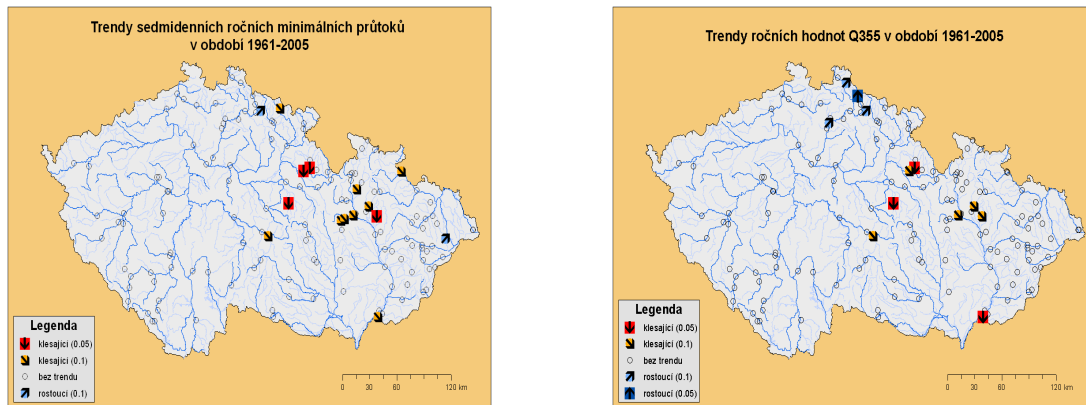


Abb. 1: Ausgewertete Trends der jährlichen 7-Tage-Mindestabflüsse (links) und der Abflüsse Q_{355d} (rechts).

Trendy sedmidenních ročních minimálních průtoků v období 1961-2005 = Trends der jährlichen 7-Tages-Mindestabflüsse im Zeitraum 1961-2005

Trendy ročních hodnot Q_{355} v období 1961-2005 = Trends der Jahreswerte Q_{355} im Zeitraum 1961-2005

Legende: klesající = fallend, rostoucí = steigend, bez trendu = kein Trend

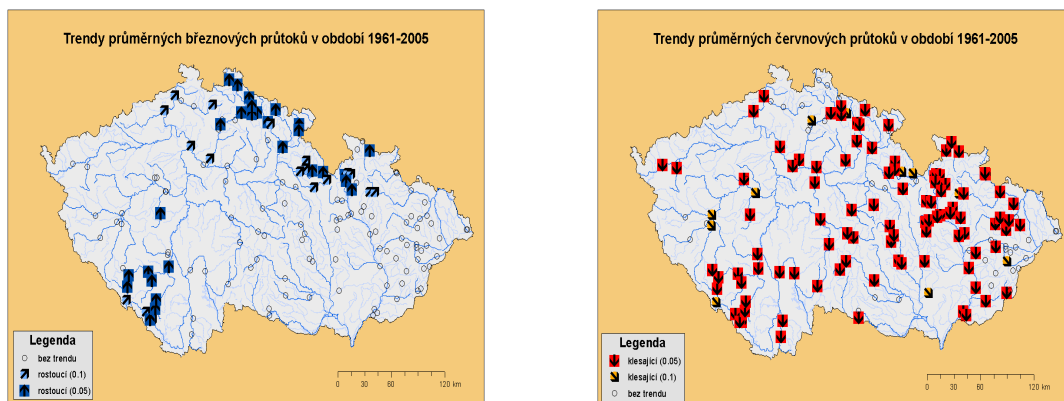


Abb. 2: Ausgewertete Trends der durchschnittlichen monatlichen Abflüsse im März (links) und im Juni (rechts).

Trendy průměrných březnových průtoků v období 1961-2005 = Trends der durchschnittlichen monatlichen Abflüsse im März im Zeitraum 1961-2005

Trendy průměrných červnových průtoků v období 1961-2005 = Trends der durchschnittlichen monatlichen Abflüsse im Juni im Zeitraum 1961-2005

Legende: klesající = fallend, rostoucí = steigend, bez trendu = kein Trend

3 Simulation der Abflussreihen für die zu bewertenden Zeiträume im 21. Jahrhundert

Bei der Beurteilung möglicher Folgen des Klimawandels auf die Abflusskennziffern in ausgewählten Einzugsgebieten ist man von den Ergebnissen der Klimaszenarien ausgegangen. Die erreichten Ergebnisse dürfen nur als Szenarien i. S. "Was wäre wenn?" aufgefasst werden, da die Unsicherheit der Klimaszenarien, auf denen sie beruhen, sehr groß ist und die derzeitigen Klimamodelle noch nicht das Niveau haben, das es ermöglichen würde, sie in der Modellierung der erwarteten Änderungen, vor allem des Hochwasserregimes, mit ausreichend robusten Ergebnissen wissenschaftlich korrekt zu verwenden (KUNDZEWICZ 2011).

Die Simulation künftiger extremer Abflusskennlinien wurde für verschiedene Klimaszenarien und für drei Zeiträume im 21. Jahrhundert (2010-2039, 2040-2069 und 2070-2099) sowie für den Referenzzeitraum (1961-1990) durchgeführt. Mit dem Generator LARS-WG (SEMENOV 2008) wurden 1000-Jahres-Reihen der meteorologischen Größen generiert, die mit der modifizierten Schaaake-Shuffle-Methode (CLARK et al. 2004) räumlich verteilt und stochastisch zeitlich bis zu einem 6-Stunden-Schritt verteilt wurden. Der Abfluss wurde mit dem hydrologischen System AquaLog, in das das Modell SAC-SMA integriert ist, simuliert (NWS 2010). Die Auswertung wurde auch für drei Varianten mit kühleren Klimabedingungen, die dem Ende des 19. Jahrhunderts entsprechen, vorgenommen, um die Sensibilität des Abflussprozesses auf die wichtigsten Klimaeingangsgrößen festzustellen.

Für die Modellierung wurden die folgenden 7 Einzugsgebiete ausgewählt: Adler (Orlice), Výrovka, Iser (Jizera), Obere Moldau (horní Vltava), Wottawa (Otava), Wittig (Smědá) und Betschwa (Bečva) (siehe Abb. 3).

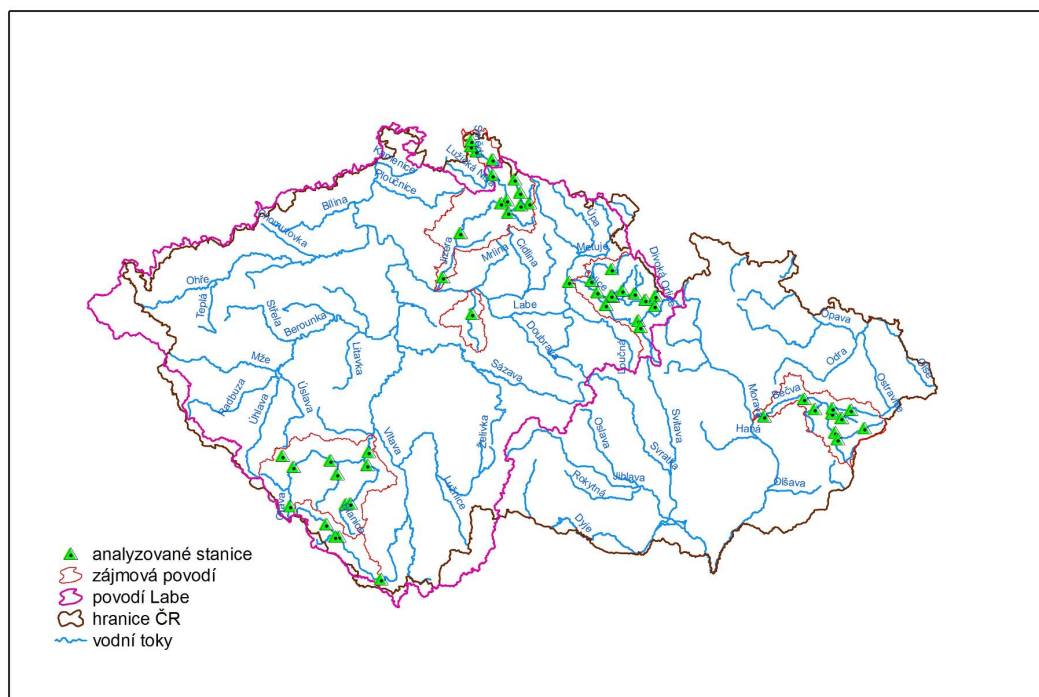


Abb. 3: Untersuchte Einzugsgebiete und analysierte Pegelstationen

analyzované stanice = analysierte Pegelstationen, zájmové povodí = untersuchte Einzugsgebiete
povodí Labe = Einzugsgebiet der Elbe, hranice ČR = Grenze der Tschechischen Republik
vodní toky = Wasserläufe

Für die 16 Pegelstationen der ausgewählten Einzugsgebiete wurde eine Analyse der Mindestabflüsse ausgehend von der Linie der Überschreitung der M-täglichen Abflüsse (Q_a , Q_{330d} , Q_{355d} und Q_{364d}) und der 7-Tage-Mindestabflüsse Q_{min7d} (Mittelwerte und N-jährliche 7-Tage-Mindestabflüsse mit einer Wiederholungszeit von $N = 5$ bis 100 Jahre) durchgeführt.

Es wurden die Abflusskennlinien der simulierten Reihen und der Reihe für den Referenzzeitraum verglichen und ihre prozentualen Abweichungen berechnet. Ausgewählte Ergebnisse sind in den Abb. 4, 5 und 6 dargestellt.

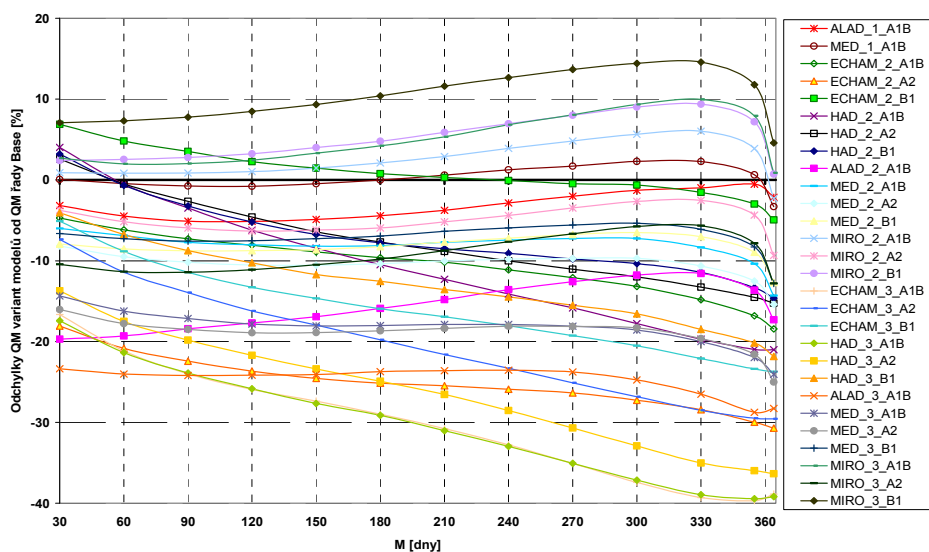


Abb. 4: Relative Abweichungen von den simulierten M-täglichen Abflüssen der Wottawa (Otava) in Pisek.
Odchylky Q_M variant modelů od Q_M řady BASE (%) = Abweichungen Q_M der Modellvarianten von Q_M der Reihe BASE (%)

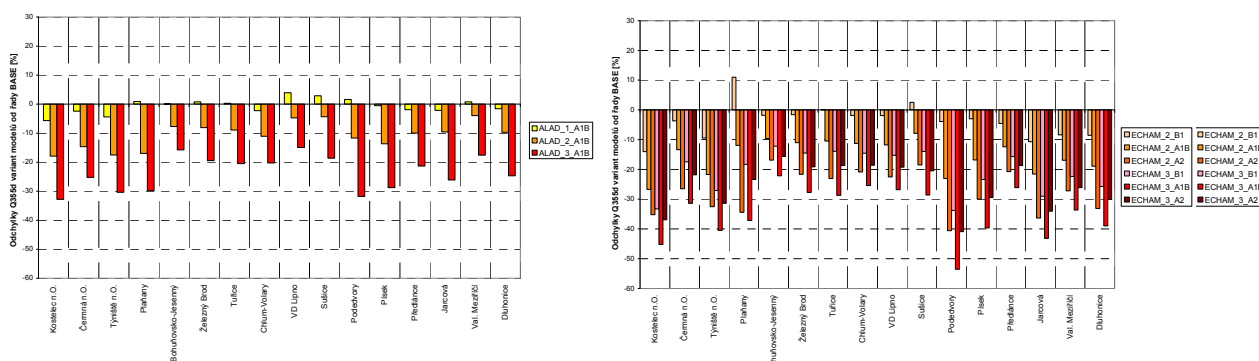


Abb. 5: Abweichungen des Abflusses Q_{355d} – aus den Simulationen anhand der Klimaszenarien ALADIN-CLIMATE/CZ (links) und MPI_ECHAM5 (rechts). Die Zeiträume sind wie folgt gekennzeichnet: 1 = 2010-2039, 2 = 2040-2069, 3 = 2070-2099.
Odchylky Q_{355d} variant modelů od řady BASE (%) = Abweichungen Q_{355d} der Modellvarianten von der Reihe BASE (%)

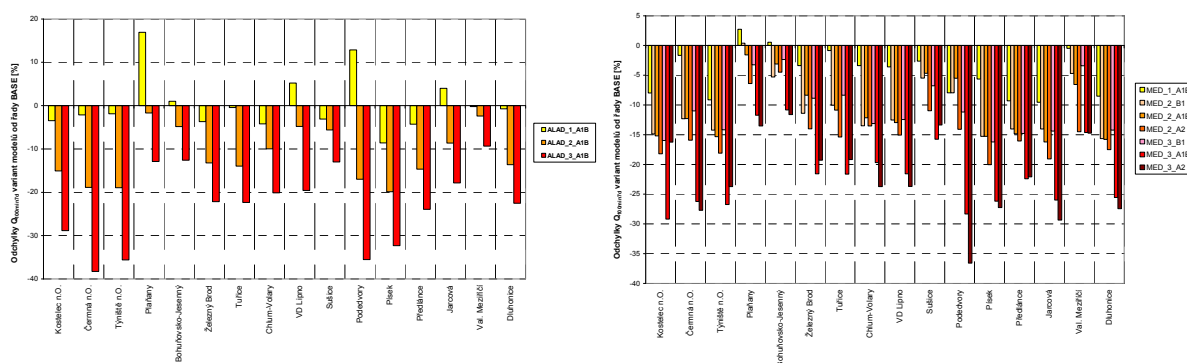


Abb. 6: Abweichungen des Abflusses $Q_{100min7d}$ – aus den Simulationen anhand der Klimaszenarien ALADIN-CLIMATE/CZ (links) und MED (rechts). Die Zeiträume sind wie folgt gekennzeichnet: 1 = 2010-2039, 2 = 2040-2069, 3 = 2070-2099.
Odchylky $Q_{100min7d}$ variant modelů od řady BASE (%) = Abweichungen $Q_{100min7d}$ der Modellvarianten von der Reihe BASE (%)

Auf der Grundlage der Auswertung der Reihen der simulierten Jahresabflussmaximalwerte wurden die empirischen Kurven der Überschreitungen konstruiert, die für das Beispiel der Pegelstation Týniště nad Orlicí in Abb. 7 dargestellt sind.

Ein Beispiel für die Ergebnisse der Simulation des Variantenensembles der zeitlich-räumlichen Niederschlagsverteilung für die größten Hochwasserereignisse in den simulierten Reihen zeigt Abb. 8.

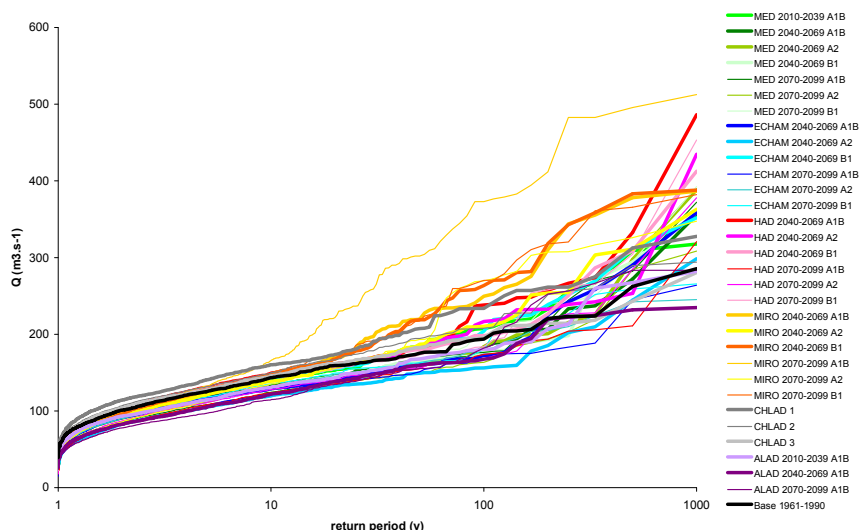


Abb. 7: Empirische Kurve der Überschreitung für die Adler (Orlice) in Týniště nad Orlicí.

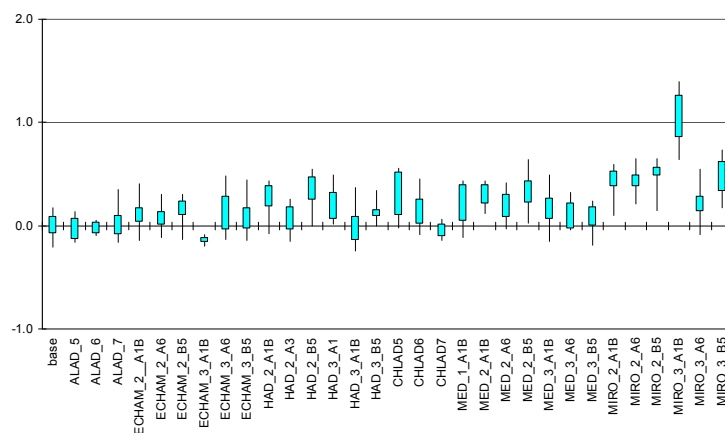


Abb. 8: Ergebnisse der Simulation des Ensembles der zeitlich-räumlichen Verteilung der eingehenden Niederschläge für das fünftgrößte Hochwasser in der modellierten Reihe für die Adler (Orlice) in Týniště nad Orlicí.

4 Bewertung der Ergebnisse

Die Werte der abgeleiteten Abflusskennlinien sind von der Kombination des Klimamodells und des Emissionsszenarios abhängig. Vergleichbare Ergebnisse liefern die auf ALADIN-CLIMATE/CZ und MED beruhenden Simulationen, größere Rückgänge basieren auf UK-MO_HADCM3 und MPI_ECHAM5. Untypisch verhalten sich die von MIROC3_2_M abgeleiteten Simulationen, die von einer Zunahme der Niederschläge im Sommer ausgehen.

Aus den Ergebnissen der Simulationen resultierte, dass die Kennlinien der Reihen der modellierten mittleren Abflüsse und Mindestabflüsse eine deutlich größere Streuung aufweisen und somit eine Unsicherheit darstellen. Dennoch wird das vorherrschende Signal in Richtung Rückgang der Mindestabflüsse deutlich. Für den nächsten Zeitraum 2010-2039 sind die Rückgänge des Abflusses Q_{355} relativ gering, und zwar größtenteils bis zu -5 %. Im zweiten Zeitraum 2040-2069 geht der Wert Q_{355d} um durchschnittlich -13 % zurück, und in dem ferneren Zeitraum 2070-2099 beträgt der Rückgang durchschnittlich ca. -23 %.

Analog dazu zeigen sich auch bei der Bewertung der 7-Tage-Mindestabflüsse (Mittelwerte und der Abflüsse $Q_{100min7d}$) im Durchschnitt Rückgänge, die in den ferneren Zeiträumen stärker sind. Im nächsten Zeithorizont sinkt der Abfluss $Q_{100min7d}$ um ca. -2 %, im zweiten Zeithorizont um durchschnittlich -11 % und im spätesten Zeitraum um -18,2 %.

Auch die Simulationen der Änderungen des Hochwasserregimes unterscheiden sich deutlich in Abhängigkeit von dem verwendeten Leitklimaszenario. Es ist kein eindeutiger Trend im Verlaufe des 21. Jahrhunderts erkennbar, allerdings zeigen die meisten Simulationen, insbesondere für das Emissionsszenario A1B eher einen leichten Rückgang der Größe der Hochwasser für die ferneren Zeiträume, während für den nächsten simulierten Zeitraum (bis 2039) die erhaltenen Signale nicht eindeutig sind. Nur bei dem Emissionsszenario A2 überwiegt der Anstieg in Richtung der späteren Zeiträume. Die simulierten Differenzen sind im Vergleich zum derzeitigen Referenzszenario größtenteils relativ gering. Dabei scheint es, dass die voraussichtliche Niederschlagsmenge im Sommer den entscheidenden Einfluss auf das simulierte Hochwasserregime hat, insbesondere in Gebieten von längeren Wiederkehrzeiten extremer Abflüsse, und die fehlende Eindeutigkeit des Trends zu Lasten der antagonistischen Wirkung des Einflusses der Niederschläge (weniger häufig, aber extremer) und der geringeren Anfangssättigung des Bodens (infolge des höheren Potenzials der Evapotranspiration und der längeren Zeiten des Auftretens von Trockenepisoden im Sommer) geht.

5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse weisen eine große Unsicherheit auf. Trotzdem zeigen sie den zunehmenden Einfluss des erwarteten Klimawandels auf die Abnahme der mittleren Abflüsse und der Mindestabflüsse, vor allem in den ferneren Zeiträumen. Für den nächsten Zeithorizont (bis 2039) schlagen wir keine besonderen Maßnahmen vor. Als nächsten Schritt sehen wir die Änderung des Referenzzeitraumes. Das Tschechische Hydrometeorologische Institut wird ab Januar 2013 die M-täglichen Abflüsse für den Referenzzeitraum 1981-2010, der den derzeitigen Wasserhaushalt besser charakterisiert, zur Verfügung stellen.

Aufgrund der Unsicherheit der Ergebnisse ist es empfehlenswert, von den möglichen Anpassungsmaßnahmen vor allem die Maßnahmen in Betracht zu ziehen, die auf die Problematik des Wassermangels und des richtigen Landschaftsmanagements abzielen; z. B. Maßnahmen in der Landschaft (Flächenvielfalt, Bewaldung, Begrünung, Saatmethoden, flache Gräben, Versickerungstreifen u. a.), die Revitalisierung von Wasserläufen, die Infiltration in urbanisierten Gebieten, die Wiederherstellung von alten oder die Errichtung von neuen Talsperren, das effektivere Wirtschaften mit dem Wasserdargebot (Wasserüberleitungen, mehrfache Nut-

zung des Wassers u. a.), die Reduzierung des Wasserverbrauchs und die Verbesserung der Abwasserbehandlung. Es handelt sich also um Maßnahmen, durch die das Maß der Anpassung der menschlichen Gesellschaft an die derzeitige Variabilität des Wasserkreislaufs erhöht wird.

Literatur

CLARK, M., S. GANGOPADHYAY, L. HAY, B. RAJAGOPALAN, R. WILBY (2004): The Schaake Shuffle: A Method for Reconstructing Space–Time Variability in Forecasted Precipitation and Temperature Fields, *Journal of Hydrometeorology* 2004; 5, pp. 243-262.

KUNDZEWICZ, Z. (2011): Global Change and Flood Risk Management. In Chavoshian, A. Takeuchi, K. (2011): Large-scale Floods Report, ICHARM, Tokyo, pp: 1-26.

NWS (2010): NWSRFS User Manual Documentation, dostupné na
<http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/nwsrfs/users_manual/htm/xrfsdocpdf.php>

SEMENOV, M. A. (2008): Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Clim Res*, 11, pp. 203-212.

Kontakt:

Bohuslava Kulasová

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17

143 06 Praha 4 - Komořany

Tel.: +420 244 032 302

Fax: +420 244 032 342

E-Mail: kulasova@chmi.cz

Jahrgang: 1946

1963-1968 (Ing.)

Tschechische Technische Hochschule, Fakultät für Bauwesen, Studiengang: Wasserbau und Wasserwirtschaft

seit 1969 im Tschechischen Hydrometeorologischen Institut

Hydrologe – Prognostikerin

Hydrologe – Spezialistin für die Bearbeitung von hydrologischen Kennziffern von Oberflächengewässern, statistische Bearbeitung

Ausgewählte Projekte:

1997-2000: Projekt VaV/510/3/97 – Entwicklung und Testen von Methoden zur Abschätzung von Bemessungshochwassern mit einer extremen Wiederholungszeit.

DÚ 2.4 Statistische Methoden für die Abschätzung der Kennziffern von Extremhochwassern

2001-2004: Projekt QD 1368 – Verifizierung der Methoden zur Ableitung von hydrologischen Unterlagen für die Beurteilung der Sicherheit von Stauanlagen bei Hochwasser

2003-2005: Projekt VaV/650/6/03 – Einfluss, Analyse und Nutzungsmöglichkeiten der Schutzfunktionen von Talsperren für den Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe

2007-2011: Projekt VaV SP/1a6/108/07 – Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels in der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen.

DÚ 3 Auswirkungen des Klimawandels auf die Mindestabflüsse.

1995-2005: Mitglied (Sprecherin) der Arbeitsgruppe Hydrologie der IKSE

seit 2006: Vorsitzende der Expertengruppe Hydrologie der IKSE

2011-2013: Adhoc-Mitglied der Arbeitsgruppe Wassermengenmanagement der IKSE



Kontakt:

Dr. Jan Daňhelka

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4 - Komořany
Tel.: +420 244 032 300
Fax: +420 244 032 342
E-Mail: danhelka@chmi.cz

Jahrgang: 1976

1994-1999 (MSc.)

Karlsuniversität, Naturwissenschaftliche Fakultät
Studiengang: Physische Geografie

1999-2005 (Ph.D.)

Karlsuniversität, Naturwissenschaftliche Fakultät
Studiengang: Hydrologie

seit 1999 im Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ)

Hydrologe – Prognostiker
stellvertretender Direktor für Hydrologie

seit 2004 Naturwissenschaftliche Fakultät der Karlsuniversität

Fachassistent, externer Pädagoge

Ausgewählte Projekte:

2003-2006 Projekt FLAMIS – internationales (tschechisch-schweizerisches) Projekt Flood assesment and mitigation in the Lužnice river basin in southern Bohemia

2003-2005 Projekt VaV/650/6/03 – Einfluss, Analyse und Nutzungsmöglichkeiten der Schutzfunktionen von Talsperren für den Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe

Projekt VaV/650/4/03 – Erforschung der Beziehungen zwischen den meteorologischen Ursachen für die Entwicklung von Starkniederschlägen und dem hydrologischen Verhalten von Hochwassern

2006-2008 Projekt Operationelles Hochwassermanagement in großräumigen Extremsituationen am Beispiel der Mittleren Elbe im Rahmen des Programms RIMAX

2007-2011 Projekt VaV SP/1c4/16/07 – Forschung und Implementierung neuer Instrumente für die Hochwasser- und Abflussvorhersage im Rahmen der Sicherstellung des Hochwassermelde- und -vorhersagedienstes in der Tschechischen Republik

Projekt VaV SP/1a6/108/07 – Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels in der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge von Anpassungsmaßnahmen, Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Extremabflüsse in der Tschechischen Republik

seit 2010: Hydrological Advisor (Hydrologischer Berater der Tschechischen Republik für die WMO)

seit 2011: Mitglied der Tschechischen UNESCO-Kommission

seit 2012: Vorsitzender des Tschechischen Nationalen Komitees für Hydrologie

Änderungen des Wasserhaushalts der Elbe im 21. Jahrhundert

Imke Lingemann, Enno Nilson, Maria Carambia und Peter Krahe

1 Einleitung

Die beobachteten kurz-, mittel- und langfristigen Veränderungen des Durchflusses der Elbe und ihrer größeren Nebenflüsse wurden einerseits durch natürliche Veränderungen im Wasserhaushalt und andererseits durch vielfältige anthropogene Maßnahmen der Wasserbewirtschaftung hervorgerufen (s. a. Beiträge in diesem Heft von EBNER VON ESCHENBACH & HOHENRAINER 2013, BELZ 2013, GRÜNEWALD 2013, SKOŘEPA 2013).

Nicht zuletzt auch aufgrund dieses Wechselspiels unterliegen Aussagen zu zukünftigen Veränderungen des Wasserhaushalts relativ großen Unsicherheiten. Welche Folgen wird ein möglicher Klimawandel für den natürlichen Wasserhaushalt haben? Wie wird der Mensch darauf reagieren? Wie wird sich das wiederum auf den Wasserhaushalt und das Abflussregime der Elbe und ihrer Nebenflüsse auswirken?

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Ansätze zum Umgang mit diesen Unsicherheiten im Kontext der Wasserhaushaltsmodellierung vorgestellt (CONRADT et al. 2012, HANEL et al. 2012, HATTERMANN et al. 2010, NILSON et al. 2010, NILSON & KRAHE 2012). Dieser Beitrag stellt Zwischenergebnisse des Forschungsprogramms „KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland“ (Projekt 4.01, „Wasserhaushalt, Wasserstand, Transportkapazität“) vor. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Bestimmung der Unsicherheiten in den Simulationen des zukünftigen Abflussgeschehens, die von der Verwendung unterschiedlicher Klimaprojektionen herrühren, während alle anderen möglichen zukünftigen Änderungen als konstant betrachtet werden.

Die Arbeiten folgen grundsätzlich dem gleichen Ansatz, der im Rahmen von KLIWAS am Rhein und an der Donau umgesetzt wurde (NILSON et al. 2010, KLEIN et al. 2012). Die Datengrundlagen und die angewandten Methoden sind im folgenden Abschnitt dargestellt. Es zeigte sich im Laufe der Untersuchungen, dass im Fall des Elbegebietes verschiedene Einflussgrößen eine größere Rolle spielen als in weiter westlich gelegenen Einzugsgebieten. Wesentliche Ursache hierfür sind die im deutschlandweiten Vergleich geringeren Niederschläge und der relativ zum Abfluss wesentlich höhere Anteil der Verdunstung an der Wasserbilanz des Elbegebietes (vgl. Tabelle 1). Dies geht einher mit einer höheren Sensitivität der simulierten Abflüsse gegenüber den gewählten Ansätzen der Niederschlags- und Temperaturkorrektur, der Verdunstungsberechnung sowie der Berücksichtigung der Wasserbewirtschaftung. Diese Aspekte sind jedoch nicht Gegenstand der hier dargestellten Untersuchungen.

Der folgende Abschnitt fasst den daten- und modelltechnischen Rahmen zusammen. Die Ergebnisse werden anschließend in Form von Änderungssignalen mit Bezug auf Mittel- und Niedrigwasserabflüsse an den in Abb. 1 dargestellten Pegeln im Elbegebiet vorgestellt. Diese Änderungssignale setzen auf das derzeitige Abflussregime im Elbegebiet auf (Abb. 2), das durchweg als pluvio-nival zu bezeichnen ist (Regen-Schnee-Typ; IKSE 2005).

Tabelle 1

Vergleich wichtiger Wasserhaushaltsgrößen im Rhein- und Elbeinzugsgebiet
(verändert nach MAURER et al. 2011).

Einzugsgebiet	Elbe	Rhein
Fläche	148.000 km ²	197.000 km ²
Stromlänge	1094 km	1230 km
Einwohner	24 Mio.	58 Mio.
Mittlerer Abfluss (Mündung)	~860 m ³ /s	~2500 m ³ /s
Niederschlag	~630 mm (100%)	~950 mm (100%)
Verdunstung	~450 mm (71%)	~550 mm (58%)
Abfluss	~180 mm (29%)	~400 mm (42%)

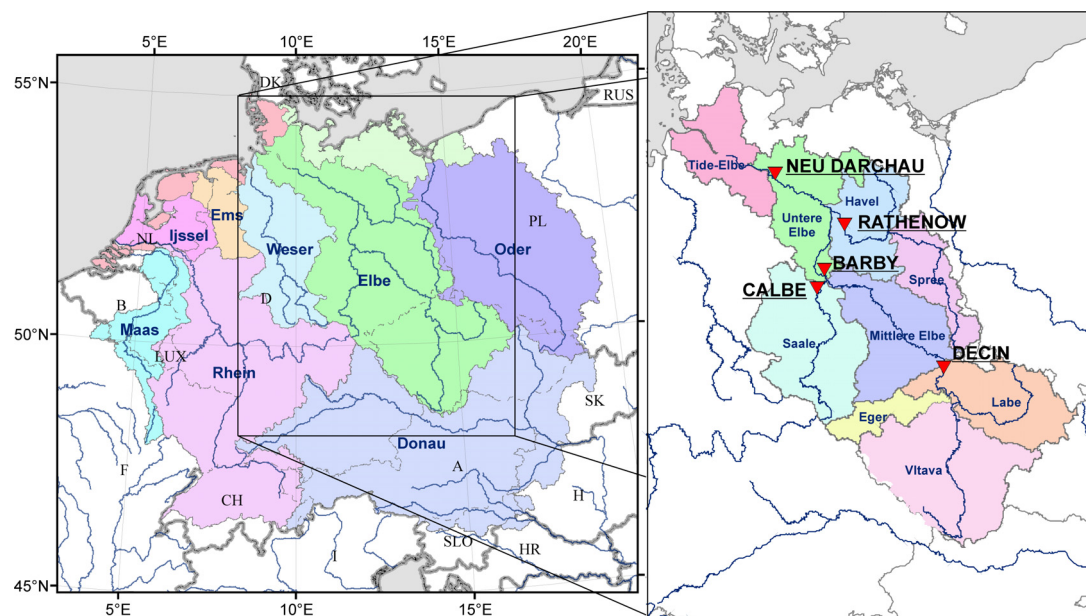


Abb. 1: Überblick über das KLIWAS-Untersuchungsgebiet (links) und das Elbegebiet (rechts). Die roten Dreiecke markieren die in Abschnitt 0 genannten Pegel.

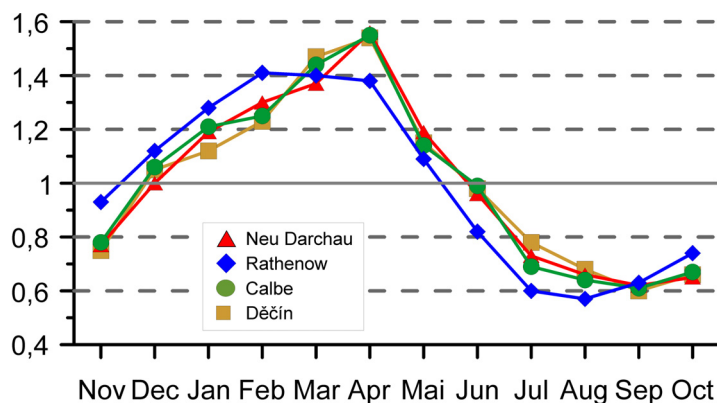


Abb. 2: Abflussregime von Elbe (Děčín, Neu Darchau), Saale (Calbe) und Havel (Rathenow), dargestellt anhand des dimensionslosen Pardé-Koeffizienten für die Periode 1961-1990.

2 Daten und Modelle

Die Simulationen des zukünftigen Wasserhaushalts im Elbegebiet basieren auf einer komplexen Modellkette (Abb. 3). Mit dieser werden mögliche Entwicklungspfade der Weltwirtschaft und ihre Auswirkungen auf das globale und regionale Klimasystem (u. a. über steigende CO₂-Emissionen und resultierenden Energiehaushalt) in Klimagrößen umgesetzt, die für den regionalen Wasserhaushalt von Bedeutung sind. Hierzu gehören die Lufttemperatur (T) und der Niederschlag (P). Vergleiche zwischen diesen Modelldaten und Beobachtungsdaten desselben Zeitraums zeigen oft systematische Unterschiede (sogenannter Bias), die mittels statistischer Korrekturmodelle korrigiert werden. Auf Grundlage dieser modifizierten hydrometeorologischen Größen (T* bzw. P*) werden mittels regionaler hydrologischer Modelle letztlich Änderungen des Abflusses (Q) ermittelt.

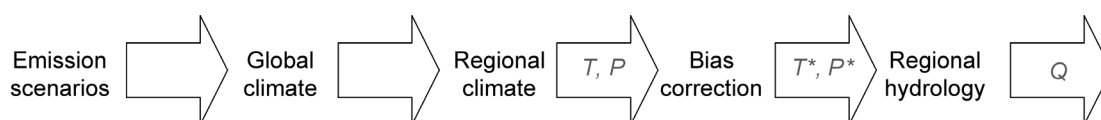


Abb. 3: Schema einer Modellkette der hydrologischen Klimafolgenforschung.

Jedem Modell der Kette liegen Annahmen und Daten zugrunde, deren Genauigkeit begrenzt ist. Es ist gängige Praxis, durch die Verwendung verschiedener Modelle, einen Eindruck von den jeweiligen Unsicherheiten zu erlangen (sog. Multimodell-Ansatz). Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt auf der Darstellung der Unsicherheiten infolge der meteorologischen Eingangsdaten (Klimamodellketten; vgl. Tabelle 2). Andere Rahmenbedingungen (z. B. Landnutzung, Wasserbewirtschaftung, hydrologisches Modell, Biaskorrekturverfahren, Verdunstungsansatz) werden daher bewusst nicht variiert. Entsprechend muss im Hinterkopf behalten werden, dass unter Berücksichtigung der genannten Einflüsse die Möglichkeit besteht, dass andere Sensitivitäten ermittelt werden. Hier sind weitere Untersuchungen wünschenswert.

Aufbereitung und Bewertung der Klimamodelldaten

Tabelle 2 gibt einen Überblick der 35 in KLIWAS berücksichtigten Klimamodellketten. Das dargestellte Multi-Modell-Ensemble repräsentiert die Datengrundlagen, die Ende 2012 verfügbar waren. Die verschiedenen Schritte der auf diese Daten angewendeten Aufbereitungs- und Bewertungsprozedur sind in Abb. 4 schematisch zusammengefasst.

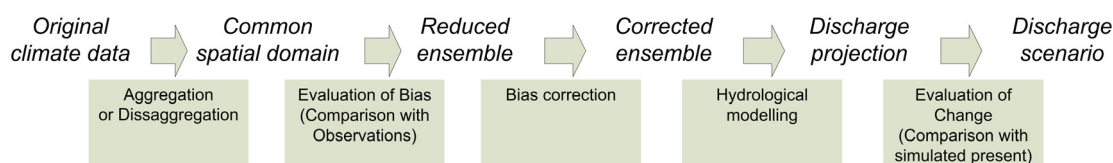


Abb. 4: Schema des Auswertungsrahmens zur Erstellung von Abflussszenarien.

Tabelle 2

Berücksichtigte Modellketten (SRES = Emissionsszenario, GCM = Globales Klimamodell, RCM = Regionales Klimamodell; Grau = aufgrund hoher Bias-Werte nicht verwendet; * = noch nicht für das Abfluss-Ensemble verwendete Modellketten, da noch in Bearbeitung (KRAHE et al., in Vorber.).

Nr.	SRES	GCM	RCM
1	A1B	ARP	ALD45
2			ALD51
3			HIRH5
4		BCM	HIRH
5			HIRH5
6			RCA3
7			CLM48*
8		EH5r1	CLM24*
9			RE-UBA*
10			CLM48*
11		EH5r2	CLM24*
12			RE-BFG*
13			HIRH5
14		EH5r3	RACMO
15			RCA3
16			RE-ENS
17			REGCM
18			RE-KLM

Nr.	SRES	GCM	RCM
19	A1B	HCQ0	CLM
20			HIRH
21			HRQ0
22			PROMES
23			RE-BFG*
24			RRCM
25		HCQ3	HRQ3
26			RCA3
27		HCQ16	RCA3
28			HRQ16
29		IPSL	CLM48
30		MIC	RACMO
31	A2	EH5r1	RE-UBA*
32		EH5r3	RCA3
33	B1	EH5r1	CLM24*
34		EH5r1	RE-UBA*
35		EH5r2	CLM24

Um verschiedene Klimamodellketten vergleichend bewerten zu können, ist es in einem ersten Schritt erforderlich, die auf unterschiedlichen Rechengittern vorliegenden Originaldaten in einen gemeinsamen Raumbezug zu überführen (KRAHE et al. 2009). Hier wurden alle Daten auf die 190 Teileinzugsgebiete des verwendeten hydrologischen Modells aggregiert (vgl. Abb. 6).

In einem weiteren Schritt wurden von den 35 aufgelisteten Modellketten bislang (Stand Ende 2012) 25 einer grundlegenden Plausibilitätsprüfung unterzogen (vgl. Abb. 5). Kriterium hierbei sind die systematischen Abweichungen der modellierten Lufttemperaturen und Niederschläge von den gemessenen Werten der Periode 1961-1990 je meteorologischer Jahreszeit und Teileinzugsgebiet (sog. Bias). Da Modelle die Realität nur approximiert abbilden können, ist es unvermeidlich, dass Ergebnisse von Klimamodellketten gewisse Abweichungen von Beobachtungsdaten zeigen. Einzelne Ketten verfehlen die Beobachtungen jedoch systematisch so weit, dass ein Einsatz für die hydrologische Klimafolgenanalyse nicht sinnvoll scheint. Somit wurde das Ensemble auf Grundlage der Bias-Prüfung um 7 Modellketten reduziert, die für eine oder mehrere Jahreszeiten einen besonders hohen Bias aufweisen (ausgegraut in Tabelle 2 und Abb. 5).

Für die Ergebnisse der übrigen 18 Klimamodellketten muss der Bias korrigiert werden, um sie für die Wasserhaushaltsmodellierung einsetzen zu können. Dabei werden die je Modellkette simulierten Temperatur- und Niederschlagswerte anhand vieljähriger monatlicher und einzugsgebietsbezogener Skalierungsfaktoren auf das Niveau der Beobachtungsdaten, die dem hydrologischen Modell HBV-D zugrunde liegen, entsprechend LENDERINK et al. (2007) linear skaliert.

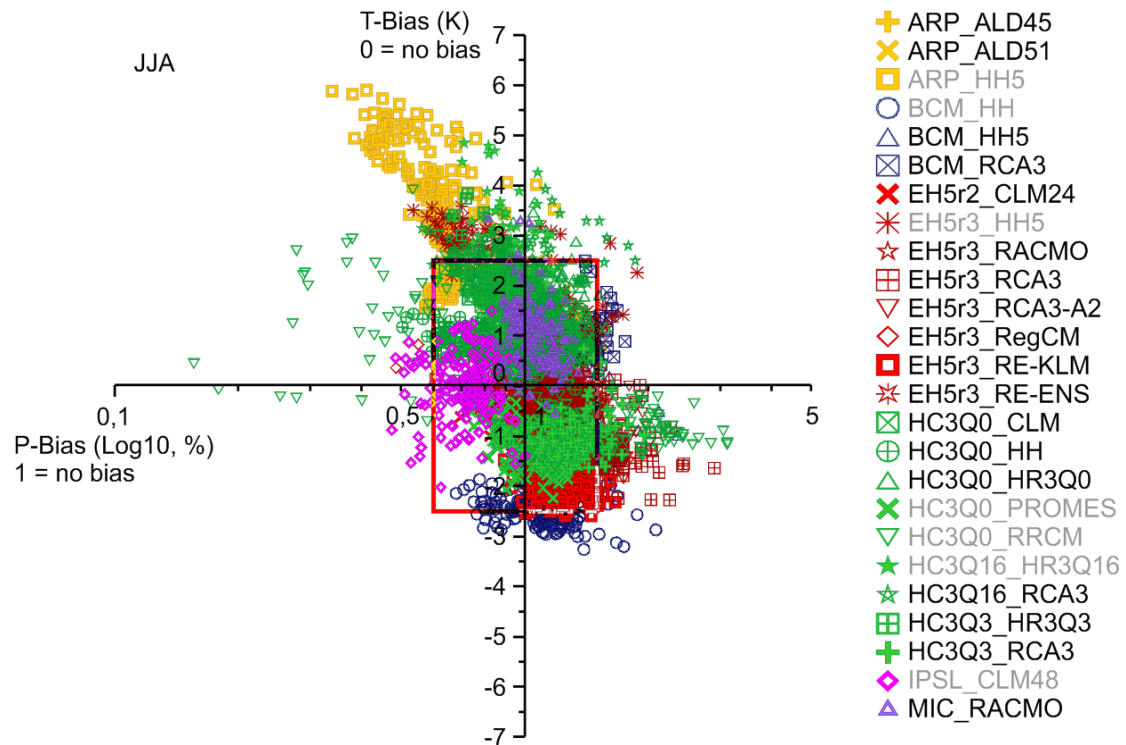


Abb. 5: Bewertung des Bias von 25 verschiedenen Klimamodellketten (vgl. Tabelle 2), dargestellt anhand der Abweichungen der simulierten vieljährigen Mitteltemperatur (vertikale Achse) und Niederschlagssumme (horizontale Achse, logarithmische Skalierung) von beobachteten Werten (HYRAS) im meteorologischen Sommer (Juni, Juli, August; beispielhaft) der Periode 1961-1990 für 190 Teileinzugsgebiete der Elbe. Je dichter die Werte am Achsenkreuz liegen, desto geringer ist der Bias. Positive Werte (Temperatur) bzw. Faktoren > 1 (Niederschlag) verweisen auf eine Überschätzung durch die Modellketten. Die grau gedruckten Ketten werden in der weiteren Modellierung nicht berücksichtigt. Die Selektionskriterien sind durch die rote Box angedeutet (T-Bias $\pm 2,5$ K; P-Faktor 0,6-1,5). * = noch in Bearbeitung.

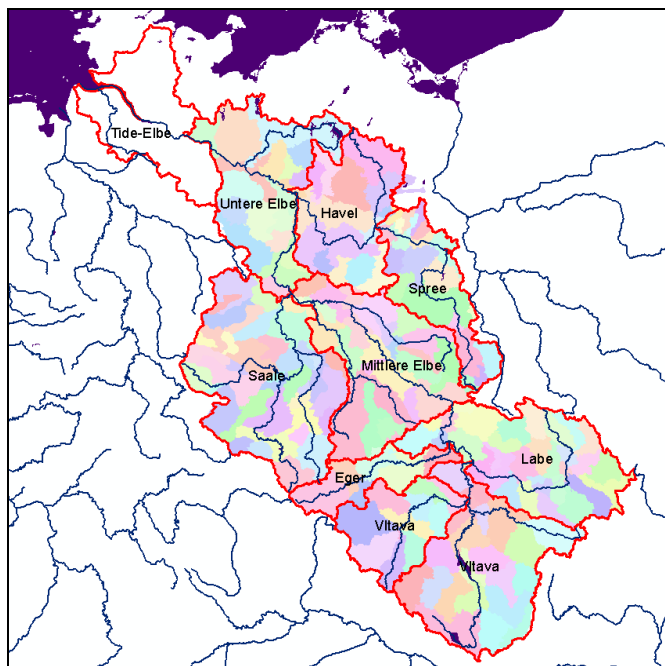


Abb. 6: Räumliche Struktur des hydrologischen Modells HBV-D.

Hydrologische Modellierung

Die hydrologische Modellierung erfolgte mit einer modifizierten und um die tschechischen Einzugsgebietsanteile erweiterten Version des konzeptionellen, semi-distributiven Modell HBV-D (LAUTENBACH 2005). Hierbei wiederum handelt es sich um eine Weiterentwicklung des ursprünglich vom Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut (SMHI) entwickelten HBV-Modells (BERGSTRÖM 1995). Das Modellgebiet umfasst das gesamte Elbegebiet bis zum Pegel Geesthacht (Abb. 6). Die Tide-Elbe wird somit nicht erfasst.

Die Parameter des Modells wurden unter Verwendung von meteorologischen Beobachtungsdaten (HYRAS, RAUTHE et al., im Druck) und beobachteten Abflüssen bestimmt. Einzelheiten zu Modellkonzept und Primärliteratur finden sich bei LINGEMANN (2012).

HBV-D simuliert die Wasserhaushaltsgrößen auf Tagesbasis für 190 Teileinzugsgebiete (Abb. 6) ausgehend von den Gebietswerten des Niederschlags und der Lufttemperatur. Die potenzielle Verdunstung wird bei Temperaturen kleiner 5°C mit einer modifizierten Version der Ivanov-Formel berechnet (LAUTENBACH 2005). Für Temperaturen ab 5°C wird die potenzielle Verdunstung mittels einer für mitteleuropäische Verhältnisse angepassten Variante der Blaney-Criddle-Formel (DVWK 1996) berechnet.

3 Ergebnisse

Simulationen der gegenwärtigen Abflussverhältnisse (1961-1990)

Die Fähigkeit der aufgebauten Modellketten zur Reproduktion der beobachteten Abflussverhältnisse ist anhand zweier Vergleiche der Simulationsergebnisse mit beobachteten Abflussdaten in Abb. 7 dargestellt. Zum einen werden Abflusssimulationen von HBV-D unter Verwendung von beobachteten meteorologischen Daten ausgewertet („Referenzlauf“), um die Eigenschaften und Güte der hydrologischen Modellkomponente HBV-D im Vergleich zu Messdaten bewerten zu können. Zum anderen wird die Güte der gesamten Modellketten durch Gegenüberstellung der Abflusssimulationen unter Verwendung der wie zuvor beschrieben aufbereiteten Klimamodelldaten ("Kontrollläufe") und des Referenzlaufs eingeschätzt.

Der Vergleich von Referenzlauf (Kreise in Abb. 7) und Beobachtung (Dreiecke in Abb. 7) zeigt, dass HBV-D in der Lage ist, die beobachteten mittleren Abflüsse (MQ) an den Pegeln am Elbe-Hauptstrom zu reproduzieren. Die Abweichungen betragen weniger als 5 %. An den Nebengewässern Havel und Saale sind die Abweichungen größer (bis 15 %). Bei der Bewertung der Simulationsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die beobachteten Abflüsse im Elbegebiet häufig in stärkerem Maße anthropogen beeinflusst sind als anderswo (Sümpfung, Überleitung, Speicherung in Talsperren). Davon sind insbesondere die Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) betroffen. Mit Ausnahme des Pegels Rathenow/Havel tendiert HBV-D zu einer Unterschätzung der beobachteten Werte zwischen 1961-1990.

Die Ergebnisse der Kontrollläufe (Striche in Abb. 7) streuen im Bereich von meist etwa +10 % bis -20 % um den Wert des Referenzlaufes. Demnach treffen die Modellketten die grundlegenden Charakteristika des Abflussregimes. Jedoch werden die mittleren Abflüsse (MQ) im Sommer durch einige Kontrollläufe stärker unterschätzt. Die genaue Ursache ist im Rahmen weiterer Arbeiten noch zu ergründen.

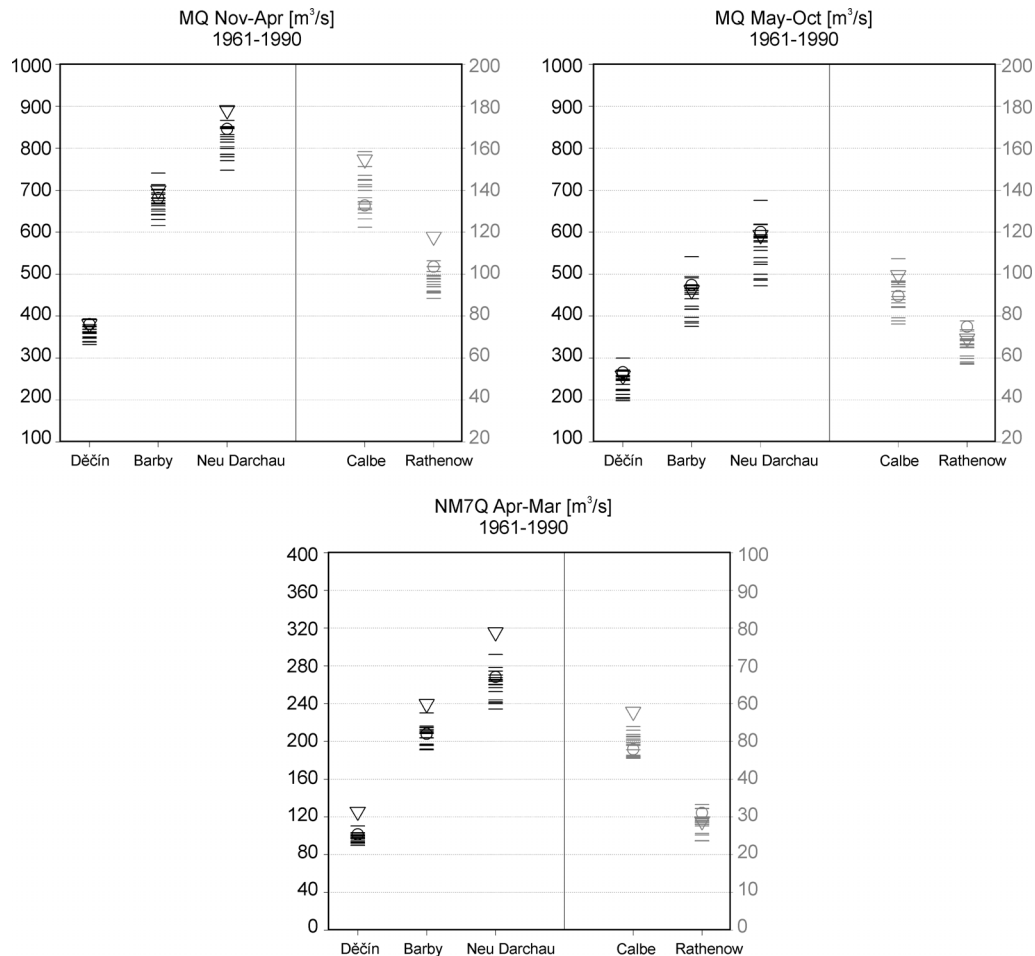


Abb. 7: Vergleich vieljähriger Mittelwerte des mittleren Abflusses (MQ) getrennt nach hydrologischen Halbjahren und des niedrigsten mittleren 7-Tagesabflusses (NM7Q) im Wasserhaushaltsjahr in der Periode 1961-1990 berechnet aus beobachteten Pegeldaten (Dreieck), sowie Pegeldaten, die simuliert wurden unter Annahme beobachteter hydrometeorologischer Daten (HYRAS; Referenzlauf; Kreis) sowie simulierter hydrometeorologischer Daten (Tabelle 2; Kontrollläufe; Striche). Die linken Ordinaten beziehen sich jeweils auf die Pegel an der Elbe, die rechten Ordinaten auf die Nebengewässer Havel und Saale (vgl. Karte Abb. 1).

Klimawandelbedingte Änderungen der zukünftigen Abflussverhältnisse (2021-2050 und 2071-2100)

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die Ergebnisse der Ensembleprojektionen des Abflusses in Form von Änderungssignalen der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse an verschiedenen Pegeln im Elbegebiet (vgl. Abb. 1). Als Niedrigwasserkennwert wurde NM7Q, das niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses an sieben aufeinander folgenden Tagen gewählt. Für jede Modellkette sind jeweils die 30-jährigen Mittelwerte des MQ und NM7Q für zwei Zukunftszeiträume (2021-2050 und 2071-2100) zum Referenzzeitraum (1961-1990) ins Verhältnis gesetzt.

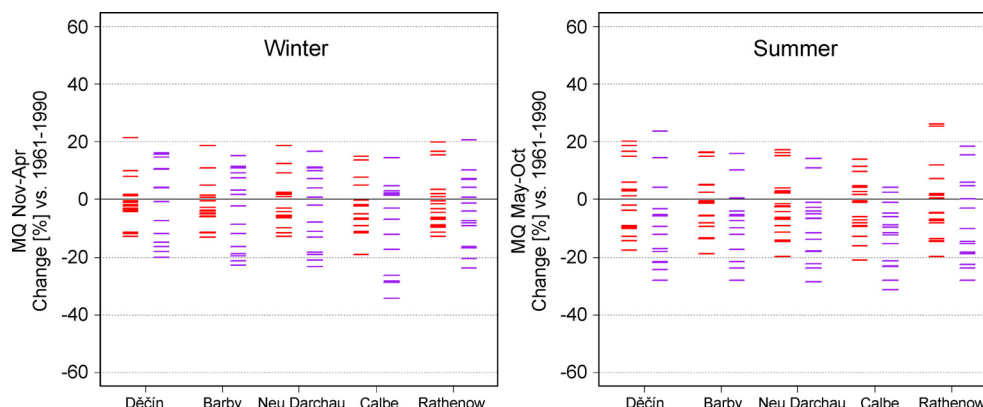


Abb. 8: Änderungen des mittleren Abflusses (MQ) getrennt nach hydrologischen Halbjahren in der nahen (2021-2050, rot) bzw. fernen (2071-2100, lila) Zukunft gegenüber der Periode 1961-1990. Simuliert mit dem erweiterten hydrologischen Modell HBV-D auf Basis eines Ensembles von 18 Klimamodellketten für die nahe und 15 für die ferne Zukunft (vgl. Tabelle 2) für ausgewählte Pegel im Elbeinzugsgebiet.

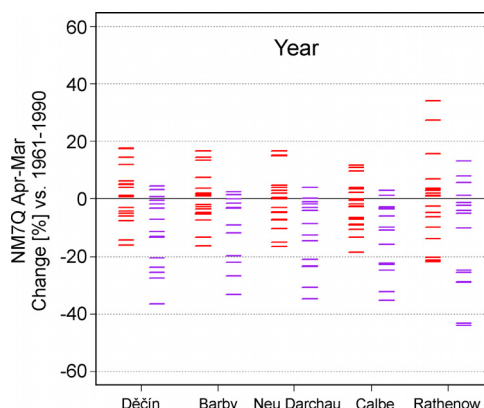


Abb. 9: Änderungen der Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) im Wasserhaushaltsjahr. Darstellung sonst analog zu Abb. 8.

Die Streuung der Ergebnisse der verschiedenen Modellketten ist groß. Insbesondere für den "nahen" Zukunftszeitraum (2021-2050) zeigen sich etwa gleich viele positive und negative Änderungen gegenüber der Referenzperiode. Dagegen tendiert im Fall der Szenarien für die "ferne" Zukunft (2071-2100) ein größerer Teil der Abflussprojektionen zu einem Rückgang der Niedrigwasserabflüsse und der mittleren Sommerabflüsse.

Szenarienkorridore

Es zeigt sich eine erhebliche Bandbreite der einzelnen Abflussprojektionen. Allerdings wird auch deutlich, dass einige Wertebereiche vergleichsweise oft projiziert werden bzw. einige Projektionen deutlich von dem Rest des Ensembles abweichen. Von dieser Feststellung ausgehend versucht das Konzept der „Szenarienkorridore“ (NILSON & KRAHE 2012) durch die Ausweisung eines oberen bzw. unteren Wertes die wesentlichen Charakteristika des Multi-Modell-Ensembles zu erfassen. Die Szenarienkorridore sind definiert als die Bereiche innerhalb des Ensembles, in denen eine klare Mehrheit der Projektionen (70-80 %) eine Häufung zeigen (Cluster). Die entsprechenden Wertebereiche sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3

Szenarienkorridore für Mittel- und Niedrigwasserkennwerte (MQ und NM7Q) an ausgewählten Pegeln im Elbeinzugsgebiet basierend auf einem Ensemble von 18 (2021-2050) bzw. 15 (2071-2100) Projektionen. Eine orange Hinterlegung zeigt an, dass die Mehrheit der Projektionen eine Abflussabnahme aufweist; eine graue Hinterlegung zeigt ein uneinheitliches Änderungssignal der Projektionen an.

Parameter	Pegel	Szenarienkorridor	
		Änderung [%]	Änderung [%]
		Nahe Zukunft	Ferne Zukunft
MQ [m³/s] Hydrologischer Winter (Nov-Apr)	Děčín (Elbe)	-10 bis +10	-15 bis +10
	Barby (Elbe)	-10 bis 0	-20 bis +10
	Neu Darchau (Elbe)	-15 bis 0	-20 bis +10
	Rathenow (Havel)	-15 bis +5	-25 bis +10
	Calbe (Saale)	-10 bis +10	-30 bis +5
MQ [m³/s] Hydrologischer Sommer (Mai-Okt)	Děčín (Elbe)	-20 bis +5	-30 bis -5
	Barby (Elbe)	-15 bis +5	-25 bis 0
	Neu Darchau (Elbe)	-15 bis +5	-25 bis 0
	Rathenow (Havel)	-20 bis +10	-30 bis +5
	Calbe (Saale)	-15 bis +5	-30 bis +5
NM7Q [m³/s] Wasserhaushaltsjahr (Apr-Mrz)	Děčín (Elbe)	-10 bis +10	-30 bis 0
	Barby (Elbe)	-10 bis +10	-30 bis 0
	Neu Darchau (Elbe)	-10 bis +5	-25 bis 0
	Rathenow (Havel)	-15 bis +10	-25 bis 0
	Calbe (Saale)	-15 bis +10	-25 bis -5

Hinsichtlich der Mittelwasserabflüsse werden im hydrologischen Winter für die nahe Zukunft überwiegend Abnahmen projiziert, allerdings auf etwas geringerem Niveau. Für die ferne Zukunft sind die Signale überwiegend indifferent. Für den hydrologischen Sommer liegt der Schwerpunkt der Projektionen sowohl für die nahe wie für die ferne Zukunft im negativen Bereich.

Die Niedrigwasserabflüsse zeigen für die nahe Zukunft keine robusten Änderungssignale. Die Ergebnisse variieren zwischen ca. +10 % und -10 %. Deutliche Abnahmen zeigen sich jedoch für die ferne Zukunft.

4 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Ensemble von Abflussprojektionen für ausgewählte Pegel im Elbeinzugsgebiet erstellt. Dieses Ensemble berücksichtigt den aktuellen Kenntnisstand der Klimamodellierung und dient als Grundlage für die Ableitung von Abflussszenaren in Form von Szenarienkorridoren.

Zur Einschätzung der Unsicherheit der Projektionen wurde ein Multi-Modell-Ansatz umgesetzt. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Ermittlung von Unsicherheiten aufgrund unterschiedlicher Klimamodellketten. Konkret wurden 18 geeignete Klimamodellketten herange-

zogen. Obgleich das Multi-Modell-Ensemble unausgewogen ist (einige Modelle werden häufiger eingesetzt als andere), wird deutlich, dass dieser Ansatz unabdingbar für die Bewertung von Aussagen zur zukünftigen Entwicklung des Wasserhaushaltes im Elbegebiet und die Ableitung von Abflussszenarien ist.

Es ist Bedarf für weitere Untersuchungen deutlich geworden. Insbesondere muss der Einfluss unterschiedlicher Datenaufbereitungsschemata, unterschiedlicher Wasserhaushaltsmodelle in Verbindung mit unterschiedlichen Ansätzen der Verdunstungsberechnung sowie deren Wechselwirkung mit dem Grundwasser näher beleuchtet werden. Diese Ergänzungen sind erforderlich, um zu identifizieren, wie der hier und in anderen Beiträgen (CONRADT et al. 2012, HANEL et al. 2012, HATTERMANN et al. 2010) vorgestellte Kenntnisstand zu möglichen zukünftigen Entwicklungen des Wasserhaushalts im Elbegebiet einzuordnen ist bzw. was hierüber in Anbetracht der bestehenden daten- und modelltechnischen Herausforderungen überhaupt in Erfahrung gebracht werden kann.

5 Literatur

- BELZ, J. U. (2013): Änderungen des Abflussregimes im Elbeeinzugsgebiet im 20. Jahrhundert: Beobachtungen als Schlüssel zur Simulation der Zukunft. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 13-24
- BERGSTRÖM, S. (1995), The HBV model, in Computer Models of Watershed Hydrology, Chapter 13, edited by Singh, V. P., pp. 443-476, Water Resources Publications.
- CONRADT, T., H. KOCH, F. F. HATTERMANN & F. WECHSUNG (2012): Spatially differentiated management-revised discharge scenarios for an integrated analysis of multi-realisation climate and land use scenarios for the Elbe River basin. Reg. Environ. Change. DOI 10.1007/s10113-012-0279-4.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Merkblatt 238/1996.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., HOHENRAINER, J. (2013): Wasserbewirtschaftung im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte und Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 65-82
- HANEL, M., A. VIZINA, P. MÁČA & J. PAVLÁSEK (2012): A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech Republic. J. Hydrol. Hydromech., 60, 2012, 3, 152-161. DOI: 10.2478/v10098-012-0013-4.
- HATTERMANN, F. F., S. C. HUANG, H. KOCH (2010): Simulation der Wirkung von Klimaänderungen und Klimamodellunsicherheit auf den Wasserhaushalt für deutsche Flusseinzugsgebiete. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.), 2010. Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. 258 S.
- KLEIN, B., I. LINGEMANN, E. NILSON, P. KRAHE, T. MAURER, H. MOSER (2012): Key concepts of climate change impact analyses for river basin management in the River Danube. River Systems Volume 20 Issue 1-2 (2012), p. 7 - 21. DOI: 10.1127/1868-5749/2011/0035

- KRAHE, P., E. NILSON, M. CARAMBIA, T. MAURER, L. TOMASSINI, K. BÜLOW, D. JACOB, H. MOSER (2009), Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen - Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 5/2009, 316-331.
- KRAHE, P. et al. (2013): KLIWAS-Schlussbericht Elbe. In Vorbereitung.
- LAUTENBACH, S. (2005): Modellintegration zur Entscheidungsunterstützung für die Gewässergütebewirtschaftung im Einzugsgebiet der Elbe. Dissertation. Universität Osnabrück.
- LENDERINK, G., T. A. BUISSHAND, W. VAN DEURSEN (2007a): Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach, Hydrology & Earth System Sciences, 11, 1145-1159.
- LINGEMANN, I. (2012): Faktenblatt HBV-D. Verfügbar unter:
http://geoportal.bafg.de/dokumente/kliwas/modelle/factsheets/factSheet_HBV-D_de.pdf.
(letzter Zugriff 19.04.2013)
- MAURER, T., E. NILSON & P. KRAHE (2011): Entwicklung von Szenarien möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss- und Wasserhaushaltskenngrößen in Deutschland, acatech Materialien Nr. 11, München.
- NILSON, E., C. PERRIN, J. BEERSMA, M. CARAMBIA, P. KRAHE, O. DE KEIZER, K. GÖRGEN (2010): Evaluation of data and processing procedures. In: Görgen K, Beersma J, Brahmer G, Buiteveld H, Carambia M, de Keizer O, Krahe P, Nilson E, Lammersen R, Perrin C, Volken D (2010) Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine. River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 51-95. Verfügbar unter:
http://www.chr-khr.org/files/CHR_I-23.pdf.
- NILSON, E. & P. KRAHE (2012): Zum Transfer der Unsicherheiten von Abfluss-Projektionen des 21. Jahrhunderts in den politisch-administrativen Raum. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 31. 287-293.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. MAZURKIEWICZ & A. GRATZKI (2013): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins – Part I: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results, Meteorolog. Z., submitted.
- SKOŘEPA, J. (2013): Notwendigkeit der Bewertung von Folgen des Klimawandels für die Wasserbewirtschaftung. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 102-107
- VAN DER LINDEN P. AND J. F. B. MITCHELL (2009): ENSEMBLES - Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 S. Verfügbar unter: http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf.



Kontakt:

Imke Lingemann

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5983
Fax: 0261/ 1306 5080
E-Mail: lingemann@bafg.de

2002-2008

Studium der Angewandten Umweltwissenschaften
an der Universität Trier

2008-2010

Anstellung als Hydrologin im Ingenieurbüro für
Wasserwirtschaft und Wasserbau Ludwig, Karls-
ruhe

seit 2010

Wissenschaftliche Angestellte der Bundesanstalt
für Gewässerkunde

Projektbearbeitung:

2010-2011: ECCONET – Effects of climate
change on the inland waterway net-
works

2011-2012: KLIWAS ELBE – Auswirkungen des
Klimawandels auf Wasserstraßen
und Schifffahrt.

Seamless Prediction - Quantifizie-
rung und Reduktion von Unsicher-
heiten für Kurz-, Mittel- und Lang-
fristvorhersagen

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbilanz und mögliche Anpassungsmaßnahmen in der Tschechischen Republik

Martin Hanel, Ladislav Kašpárek und Magdalena Mrkvičková

1 Einleitung

Der folgende Beitrag informiert über die Ergebnisse der Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt in der Tschechischen Republik und über den Rahmen der Auswertung möglicher Anpassungsmaßnahmen zur Milderung der negativen Folgen dieser Änderungen, die vor allem im Rahmen des Projekts „Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels in der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen“ gewonnen wurden.

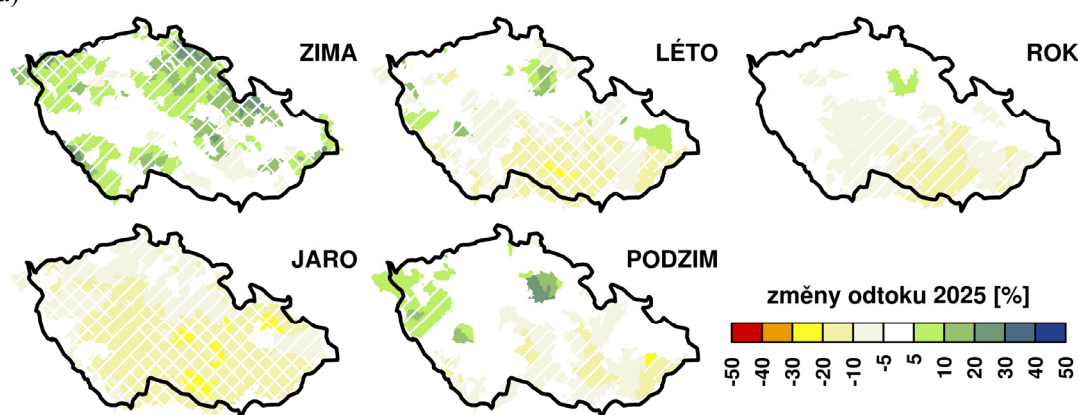
Die Auswertung der Folgen des Klimawandels wird allgemein durch die hohe Unsicherheit erschwert, und die Ergebnisse dieser Auswertung sind im Wesentlichen (unter anderem) von den angewandten Szenarien des Klimawandels, von denen es zurzeit sehr viele gibt, abhängig. Im zweiten Teil des Artikels stellen wir deshalb ein Projekt vor, das sich zum Ziel stellt, einen Rahmen für den Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Studien in Gestalt von sog. Referenzszenarien des Klimawandels zu schaffen.

2 Erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt wurden mit Hilfe der Szenarien des Klimawandels modelliert, die auf der Grundlage von 15 Simulationen regionaler Klimamodelle aus dem Projekt ENSEMBLES entstanden waren. Das hydrologische Modell Bilan wurde für 250 Einzugsgebiete unterschiedlicher Größe kalibriert. Die Wasserbilanz wurde für die derzeitigen Bedingungen und für die Bedingungen des Klimawandels nach allen in Betracht gezogenen Simulationen der regionalen Klimamodelle modelliert. Nachfolgend wurden die Änderungen ausgewählter Kennziffern der Wasserbilanz abgeleitet, und als mittlere Abschätzung dieser Änderungen wurde dann der Durchschnitt oder Mittelwert der Änderungen aus dem Satz der Modelle abgeleitet. Beurteilt wurden die Änderungen zwischen den Zeiträumen 1961-1990 und 2010-2039, 2040-2069 und 2070-2099. Diese Zeithorizonte werden im Weiteren durch ihre Mittelwerte als 2025, 2055 und 2085 bezeichnet. Das Prinzip möglicher Änderungen der Wasserbilanz in unserem Gebiet ist schon viele Jahre bekannt. Es resultiert aus den Projektionen der Niederschläge und Temperaturen für Europa, d. h. allmählicher Temperaturanstieg im Laufe des gesamten Jahres und dem Rückgang der Niederschläge im Sommer, der Zunahme der Niederschläge im Winter und der Stagnation der Nieder-

schläge im Jahresmittelwert (CHRISTENSEN et al. 2007). Die Lage der Tschechischen Republik in dem Gebiet des Übergangs zwischen der voraussichtlichen Zunahme der Niederschläge im Norden und ihrem Rückgang im Süden Europas trägt zur Unsicherheit der Abschätzung der Änderungen der Jahresniederschlagsbilanz bzw. des Abflusses und der anderen Komponenten des hydrologischen Zyklus bei. Die ungleichmäßige Verteilung der projizierten Änderungen der Niederschläge im Laufe eines Jahres gehört zu den Erscheinungen, die bei vielen Simulationen von Klimamodellen gleich sind. Das Prinzip der Änderungen der Wasserbilanz kann wie folgt zusammengefasst werden: In der Zeit von Herbstanfang bis Sommeranfang kommt es zu einer Zunahme der Niederschläge, die von dem in der Größenordnung gleichen Anstieg der aktuellen Evapotranspiration, der durch den Anstieg der Temperatur hervorgerufen wird, begleitet wird. Im Sommer kommt es zu einem Rückgang der Niederschläge, und infolge der Abnahme der Wasservorräte im Einzugsgebiet kann es nicht zu einer stärkeren Zunahme der aktuellen Evapotranspiration kommen. Ein wichtiger Faktor, der die Änderungen des Abflusses beeinflusst, ist die Verschiebung der Schneeschmelze infolge der höheren Temperatur von ca. April auf Januar/Februar. Die Änderungen des Abflusses im Zeitraum Januar bis Mai werden also durch die unterschiedliche Dynamik der Schneevorräte dominant bestimmt, die Änderungen im Sommer vor allem durch den Rückgang der Niederschläge.

a)



b)

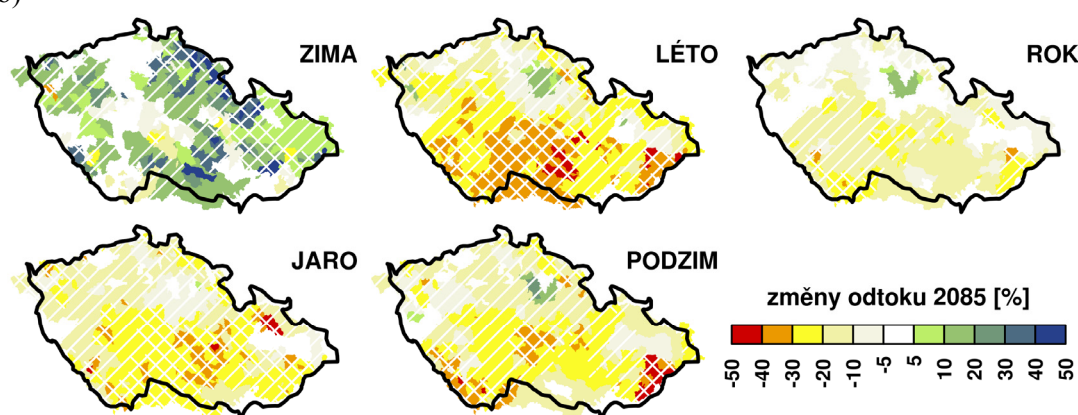


Abb. 1: Durchschnittliche Änderungen des Abflusses im Komplex der Klimamodelle für den Zeithorizont 2025 (a) und 2085 (b); schraffiert sind die Gebiete dargestellt, für die 2/3 (einfache Schraffierung) bzw. 90 % (doppelte Schraffierung) der Simulationen der Klimamodelle mit dem Vorzeichen der Änderung übereinstimmt.

(ZIMA - Winter; LÉTO - Sommer; JARO - Frühjahr; PODZIM - Herbst; ROK - Jahr; změny odtoku - Abflussänderungen)

Die durchschnittlichen Änderungen des Abflusses aus dem betrachteten Satz der regionalen Klimamodelle für die einzelnen Jahreszeiten der Zeithorizonte 2025 und 2085 sind in Abb. 1 dargestellt. Die Änderungen der Abflüsse sind für alle Zeithorizonte konsistent – in der Regel kann man einen Anstieg der Abflüsse im Winter und eine Abnahme für den Rest des Jahres und für einen großen Teil unseres Gebietes auch in der Jahresbilanz feststellen. Die größten Abnahmen sind in der Regel in der südlichen Hälfte unseres Gebietes zu verzeichnen. Etwas davon ab weicht der nächste Zeithorizont (Abb. 1a), für den es im Sommer und im Herbst Einzugsgebiete gibt, in denen die Abflüsse stagnieren bzw. in Ausnahmefällen sogar zunehmen. In der Jahresbilanz sind für diesen Zeitraum eine Stagnation der Abflüsse im nördlichen und westlichen Teil unseres Gebietes und eine Abnahme (vorwiegend bis zu 10 %) im südlichen und südöstlichen Teil der Republik zu erwarten. Für die Zeithorizonte 2055 und 2085 (die bis zu einem gewissen Grad vergleichbar sind, deshalb werden die Ergebnisse in Abb. 1b nur für den fernerer Zeitraum dargestellt) kann deutlich zwischen dem Anstieg der Abflüsse im Winter (überwiegend 5-10 %, stellenweise bis zu 20 %) und dem Rückgang in den anderen Jahreszeiten, am stärksten im Sommer (20-40 %), in der Jahresbilanz in der Regel 5-20 % unterschieden werden. In Abb. 1 sind schraffiert gleichzeitig die Einzugsgebiete dargestellt, für die 9 (einfache Schraffierung) bzw. 12 (doppelte Schraffierung) Simulationen der Klimamodelle mit dem Vorzeichen der Änderungen übereinstimmen. Es ist offensichtlich, dass vor allem die Änderungen der Jahresbilanz der Abflüsse für alle Zeithorizonte auf dem größten Teil des Gebietes relativ unsicher sind.

3 Mögliche Anpassungsmaßnahmen

Die zu einer Vermeidung oder Verringerung der negativen Auswirkungen des Klimawandels führenden Anpassungsmaßnahmen beruhen entweder auf einer Reduzierung der Forderungen (an das Wasserdargebot, die Inanspruchnahme von Flächen u. Ä.) oder einer Minderung der Wirkungen (Kompensierung des mangelnden Wasserdargebots, Hochwasserschutzmaßnahmen). Auf europäischer Ebene wurde eine ganze Reihe von mehr oder weniger detaillierten Katalogisierungen möglicher Anpassungsmaßnahmen erarbeitet. Dennoch sind nicht alle der möglichen Anpassungsmaßnahmen für das Gebiet der Tschechischen Republik geeignet und anwendbar. Im Rahmen des Projekts „Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels in der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen“ wurde deshalb eine Übersicht über die wichtigsten Anpassungsmaßnahmen erarbeitet, die für unsere Bedingungen in Frage kommen. Ausführlich werden diese Maßnahmen von HANEL et al. (2011) beschrieben und zusammengefasst.

Im Rahmen des Projekts wurde vor allem den Möglichkeiten der Minderung der Folgen des Klimawandels auf die Abflüsse sowie der Minderung der Folgen für die Landschaft (z. B. Erhöhung des direkten Abflusses, Wasser- und Winderosion), der Minderung der Gefährdung der Wasserentnahmen, der Minderung des Risikos der Verschlechterung der Wassergüte u. Ä. Aufmerksamkeit gewidmet. Zu den möglichen Anpassungsmaßnahmen gehören insbesondere Maßnahmen in der Landschaft (Förderung der Flächenvielfalt im Rahmen der komplexen Flurstücksvereinigungen, Förderung der Bewaldung und Grasaussaat, Einschränkung des Anbaus von Pflanzen, unter denen sich eine undurchlässige Kruste bildet, z. B. Mais, Bevorzugung von Saatmethoden, bei denen die Infiltration unterstützt wird, usw.), Maßnahmen an

Wasserläufen und in Flussaue (Ausbau von Flussbetten, die den Abfluss verlangsamen und die Kommunikation mit dem oberflächennahen Grundwasserleiter verbessern, Freihalten der Flussaue für Überschwemmungen), Maßnahmen in urbanisierten Gebieten (Erhöhung der Infiltration des Regenwassers, Fassung und Nutzung von Niederschlagswasser), die Wiederherstellung alter oder die Errichtung neuer Talsperren, das effektivere Wirtschaften mit dem Wasserdargebot, die Bewertung und Neubewertung der Kapazitäten des Wasserdargebots, die Verringerung des Wasserverbrauchs, die bessere Abwasserbehandlung.

Die Bedeutung der Maßnahmen in der Landschaft besteht vor allem in der Verbesserung des Wasserhaushalts der Landschaft und der Verringerung des Hochwasserabflusses bei Sturzfluten und den damit verbundenen negativen Erscheinungen (z. B. Erosion). Andererseits führt eine bessere Nutzung des Wassers in der Landschaft zu einer Vergrößerung der Evapotranspiration in der Fläche, so dass in Trockenperioden für den Abfluss aus Niederschlagswasser weniger Wasser bleibt. Für die Erhöhung der Abflüsse und der Grundwasservorräte haben in Trockenperioden die in der Landschaft realistisch durchführbaren Maßnahmen (vor allem im Hinblick auf die Fläche der Grundstücke, auf denen solche Maßnahmen durchgeführt werden können) also keine nennenswerte Bedeutung. Ebenso haben auch die Maßnahmen am Wasserlauf und in der Flussaue vor allem Einfluss auf die Reduzierung der Abflüsse bei Hochwasser, ihre Bedeutung für die Verbesserung der hydrologischen Bedingungen in Trockenzeiten ist marginal. Ein großes Potenzial aus der Sicht der Maßnahmen, die zu einer Minderung der Folgen von Trockenperioden führen, haben vor allem wasserwirtschaftliche Maßnahmen verschiedener Art, und zwar sowohl bereits bekannte und genutzte Maßnahmen (Nutzung von Talsperren, Wasserüberleitungen), als auch Maßnahmen, deren Effekt zwar vielversprechend ist, aber bislang noch nicht komplex quantifiziert wurde (Recycling von Abflüssen, gesteuerte mehrfache Nutzung des Wassers). Aus der Sicht der Reduzierung des Abflusses in urbanisierten Gebieten ist das Potenzial des Auffangens und nachfolgenden Nutzens von Regenwasser nicht außer Acht zu lassen. Mittel zur Rationalisierung der Nutzung und des Schutzes des Wasserdargebots müssen auch in den legislativen Maßnahmen und in der Reduzierung der Anforderungen an die Wasserentnahme gesehen werden. Jeder der ausgewählten Anpassungsmaßnahmen ist anwendbar und hat unter anderen Bedingungen eine ausreichende Wirksamkeit. Zu den grundsätzlichen Einschränkungen der Wirksamkeit/Umsetzbarkeit von Anpassungsmaßnahmen gehören vor allem Probleme im Zusammenhang mit vermögensrechtlichen Verhältnissen, die Einschränkungen durch natürliche Bedingungen (z. B. die Niederschlags-Abfluss-Verhältnisse, aber auch die Hydrogeologie u. Ä.), die ungünstige Morphologie des Gewässerbettes, die Größe der Fläche, auf der Anpassungsmaßnahmen realisiert werden können. Ebenso ist es nicht möglich, den finanziellen Aufwand der einzelnen Anpassungsmaßnahmen und ihrer Kombination allgemein zu quantifizieren; jeder einzelne Vorschlag von Anpassungsmaßnahmen muss separat beurteilt werden.

4 Referenzszenarien des Klimawandels

Zwischen den einzelnen Klimaszenarien gibt es große Unterschiede, und zwar verständlicherweise nicht nur absolut, sondern im Sinne des voraussichtlichen Wandels (des Trends und der Größe) der wichtigsten Klimakomponenten und ihrer Variabilität in Zeit und Raum. Die Präsentation eines oder mehrerer Szenarien ermöglicht also im Prinzip keinen gegenseitigen Vergleich der Studien (Vorschläge), die zu unterschiedlichen Zeiten an verschiedenen

Standorten abgeleitet wurden. Eine Lösung kann die Schaffung eines Referenzszenarios (oder -szenarien) für wasserwirtschaftliche Zwecke sein, das (die) einen gegenseitigen Vergleich der Ergebnisse der Auswertung des Klimafolgen in Raum und Zeit ermöglichen würde(n).

Die Schaffung solcher Referenzszenarien ist (unter anderem) auch Inhalt des Projekts „Förderung der langfristigen Planung und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen auf dem Gebiet Wasserwirtschaft im Kontext des Klimawandels“. Das Ziel dieses Projekts besteht nicht darin, weitere Simulationen von Klimamodellen zu schaffen, sondern aus den vorhandenen Simulationen repräsentative Simulationen (für die mittleren, mehr negativen und weniger negativen Folgen) auszuwählen. Die Grundlage sind die Simulationen der regionalen Klimamodelle (ALADIN-CLIMATE/CZ und Modelle aus dem Projekt ENSEMBLES), was eine räumliche Auflösung von ca. 25 km × 25 km impliziert. Die Szenarien werden für dreißigjährige Zeiträume mit den mittleren Jahren 2025, 2035, ... 2085 vorbereitet.

Außer den Referenzszenarien wird eine Methodik für die Schaffung von Szenarien des Klimawandels und ihrer Nutzung in der Wasserwirtschaft entwickelt, und es entsteht eine web-basierte Anwendung, die die Ableitung dieser Szenarien für beliebige Standorte ermöglicht und Informationen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die meteorologischen Grundgrößen und den Wasserhaushalt in einem ausgewählten Satz von 150 Einzugsgebieten liefert. Die Pilotversion des Portals wird im zweiten Halbjahr 2013 in Betrieb gehen, so dass die relevanten Informationen über die Auswirkungen des Klimawandels für etwaige Interessenten im Zusammenhang mit der zweiten Planungsrunde entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie zur Verfügung stehen werden.

5 Fazit

Die Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt ist ein untrennbarer Bestandteil der Planung auf dem Gebiet der Gewässer. Dementsprechend wurde dieser Problematik in den letzten Jahrzehnten große Aufmerksamkeit gewidmet. Nichtsdestotrotz sind die mit der Modellierung dieser Auswirkungen verbundenen Unsicherheiten recht groß und nicht immer völlig klar. Deshalb erachten wir es als erforderlich, die Ergebnisse der Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbilanz einschließlich der Unsicherheiten sowie die Methodiken der Ableitung dieser Auswirkungen und die Daten, auf denen diese Ableitung beruht (oder beruhen kann) der breiten Fachöffentlichkeit sowie Institutionen, die in die wasserwirtschaftliche Planung eingebunden sind, zugänglich zu machen.

Dank

Der Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Förderung der langfristigen Planung und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen auf dem Gebiet Wasserwirtschaft im Kontext des Klimawandels“ (TA02020320), das von der Technologie-Agentur der Tschechischen Republik gefördert wird und in dem die Ergebnisse des Forschungsprojekts „Präzisierung der bisherigen Abschätzungen des Klimawandels in der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft und Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen“ (SP/1a6/108/07) genutzt werden.

Literatur

- CHRISTENSEN, J. H., B. HEWITSON, A. BUSUIOC et al. (2007): Regional Climate Projections. In SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K., TIGNOR, M., MILLER, H., eds., Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- HANEL, M., L. KAŠPÁREK, M. MRKVIČKOVÁ (2011): Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský, T. G. Masaryka, 108 s.

Kontakt:

Martin Hanel

Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk
Podbabská 30
160 00 Prag
Tschechische Republik
Tel.: +420 220 197 404
E-Mail: hanel@vuv.cz

2002-2007

Studium in der Fachrichtung Landschaftsingenieur - Umweltmodellierung, Tschechische Agrar-Universität Prag

2007-2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Königlich-Niederländisches Meteorologisches Institut De Bilt, Niederlande

seit 2009

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk, Prag, Tschechische Republik

Fachassistent, Tschechische Agrar-Universität Prag, Tschechische Republik

Wichtige Projekte:

2007-2009: ENSEMBLES

2009-2011: WATCH

Wasserbewirtschaftung und Klimawandel im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte und Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes

Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach und Jochen Hohenrainer

Einleitung

Das Ziel der Wasserbewirtschaftung ist ein optimaler Ausgleich zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf nach Menge und Beschaffenheit. Je höher die Anforderungen der Nutzer (Wasserbedarf) sind und je geringer das natürliche Wasserdargebot ist, desto stärker wird die Bedeutung der Wasserbewirtschaftung. Im deutschen Elbeinzugsgebiet sind erhebliche regionale Unterschiede zwischen Wasserdargebot und -bedarf erkennbar.

Eine einfache Kenngröße zur Sichtbarmachung dieser regionalen Unterschiede ist die **Wasserverfügbarkeit** (auch Falkenmark-Index genannt), die das vorhandene natürliche Wasserdargebot (ausgedrückt als Abflusshöhe) auf die Einwohnerzahl bezieht. FALKENMARK & WIDSTRAND (1992) sprechen von Wassermangel bei einer Wasserverfügbarkeit unterhalb einer Grenze von 1.000 m³ Wasser pro Einwohner und Jahr.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde hat für sechs deutsche Zuflussgebiete der Elbe mit einer Einzugsgebietsfläche von mehr als 2 000 km² (Saale, Havel, Mulde, Schwarze Elster, Ilmenau, Sude; absteigende Reihenfolge entsprechend der Einzugsgebietsgröße, siehe auch Tabelle 1) die Wasserverfügbarkeit errechnet. Hierzu wurden die vieljährigen mittleren Abflusshöhen $\bar{R} = \bar{P}_{\text{kor}} - \bar{ET}_a$ (mit \bar{P}_{kor} als mittlere korrigierte Niederschlagshöhe; \bar{ET}_a als mittlere aktuelle Verdunstungshöhe) für die Zeitspanne von 1961-1990 (HAD 2003) ermittelt und entsprechend der Definition der Wasserverfügbarkeit auf die Einwohnerzahlen (Jahr 2010, Angabe der Statistischen Ämter 2010) bezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Von den betrachteten sechs Einzugsgebieten weist das Haveleinzugsgebiet die mit Abstand geringste Wasserverfügbarkeit auf (~ 410 m³ pro Einwohner und Jahr) und ist damit nach der Definition von FALKENMARK & WIDSTRAND (1992) das einzige Wassermangelgebiet unter den untersuchten Zuflussgebieten.

Hierfür können folgende Gründe angeführt werden:

- > Das Havelgebiet ist zum einen gekennzeichnet durch geringe mittlere jährliche Niederschlagshöhen (620 mm/Jahr, 1961-1990, HAD 2003) und hohe mittlere jährliche potenzielle Verdunstungshöhen (ca. 600 mm/Jahr, 1961-1990, HAD 2003), Berechnung nach Turc-Ivanov). Die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz als Diffe-

renz von mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlagshöhe und mittlerer jährlicher potenzieller Verdunstungshöhe liegt demnach bei 20 mm/Jahr. Bei Betrachtung eines längeren und aktuelleren Zeitraumes von 1951 bis 2006 ergibt sich eine klimatische Wasserbilanz (auf der Basis des HYRAS-Datensatzes (RAUTHE et al. 2011)) für das Spreengebiet von ca. -15 mm/Jahr und für das restliche Havelgebiet von ca. -28 mm/Jahr (siehe hierzu auch EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012b). In beiden Zeiträumen wurde ein kleiner Wert für die klimatische Wasserbilanz für das Havelgebiet ermittelt, der sich aufgrund der Auswahl der Zeiträume und der unterschiedlichen Datenbasis etwas unterscheidet. Im Vergleich dazu: Die klimatische Wasserbilanz an der Nordseeküste beträgt ca. 300 mm/Jahr (DWD 2001).

- > Obwohl große Teile des Havelgebietes nur eine geringe Bevölkerungsdichte aufweisen, gibt es durch das Ballungsgebiet Berlin einen erheblichen Nutzungsdruck.

Tabelle 1

Wasserverfügbarkeit in sechs deutschen Zuflussgebieten der Elbe mit einer Einzugsgebietsfläche von mehr als 2 000 km². Die vieljährigen Jahresmittel basieren auf den Ergebnissen des HAD (2003). Die Einwohnerzahlen entsprechen den Angaben von 2010. Regionale Unterschiede werden deutlich.

Flussgebiet	Einzugsgebietsgröße km²	~ korrigierte Niederschlagshöhe mm/ a 1961-1990	~ aktuelle Verdunstungshöhe mm/a 1961-1990	~ Abflusshöhe mm/ a 1961-1990	~ Einwohnerzahl - 2010	~ Wasserverfügbarkeit (Falkenmark-Index) m³/ Einwohner * Jahr
Havel*	24 297	620	530	90	5 378 000	410
Saale**	24 079	690	520	170	3 958 000	1035
Mulde**	7 400	820	520	300	1 577 000	1410
Schwarze Elster **	5 704	660	550	110	593 000	1060
Ilmenau**	2 852	750	530	220	262 000	2400
Sude**	2 253	690	510	180	110 000	3690

* Pegel Havelberg, ** Mündung Angaben aus IKSE (2005) S. 6

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass insbesondere im Havelgebiet einem geringen natürlichen Wasserdargebot ein hoher Wasserbedarf gegenübersteht. Entsprechend spielt die Wasserbewirtschaftung hier eine besonders große Rolle. Ebenso ist ersichtlich, dass der Bestimmung sowohl der potenziellen Verdunstung als auch der aktuellen Verdunstung eine umso größere Bedeutung für den Abfluss zukommt, je mehr sich Niederschlag und Verdunstung die Waage halten.

Das hier im Weiteren vorgestellte allgemeingültige und auf jedes Flussgebiet übertragbare Konzept zur Lösung der wasserwirtschaftlichen Fragestellung (Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung und des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im anthropogen stark geprägten Havelgebiet) gliedert sich in drei Stufen, die zugleich die Gliederung dieses Artikels darstellen:

1. System- und Prozessanalyse
2. Modellauswahl und -aufbau (mit Schwerpunkt Bewirtschaftungsmodell)
3. Modellanwendung

In diesem Artikel wird ein Fokus auf die beiden Bewirtschaftungsmodelle

BEWASYs Rhein-Oder (zum Modellaufbau, zur Plausibilisierung und zur Anwendung siehe EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011) und **WBalMo Havel-Spree** (zur Plausibilisierung und zum Modellaufbau siehe KALTOFEN et al. 2012a) gelegt, die ausführlicher im 2. Kapitel vorgestellt werden.

Für ein besseres Leseverständnis soll bereits an dieser Stelle auf die hydrologischen Randbedingungen (siehe nachfolgende Punkte a) und b)) für beide Modelle eingegangen werden:

- (a) beobachtete oder stochastisch direkt aus den Beobachtungen generierte **bewirtschaftete Abflussreihen** zur Beschreibung der anthropogen geprägten oberstrom des Untersuchungsgebiets liegenden externen oberirdischen Zuflussgebiete und/oder
- (b) beobachtete oder indirekt stochastisch generierte **quasi natürliche Abflussreihen** zur Beschreibung der oberirdischen Zuflüsse innerhalb des Untersuchungsgebiets.

Die indirekt generierten stochastischen quasi natürlichen Abflussreihen (Fall b) sind in der Regel das Ergebnis einer Wasserhaushaltsmodellierung, die als Randbedingung wiederum stochastische meteorologische Zeitreihen benötigt. Auf diese Weise indirekt stochastisch generierte quasi natürliche Abflussreihen werden benötigt, wenn sie nicht direkt aus beobachteten quasi natürlichen (oder naturalisierten) Abflüssen ermittelt werden können oder Szenarienbetrachtungen zum Beispiel zum Klimawandel durchgeführt werden.

Die Untersuchungen zu den hier vorgestellten Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im anthropogen geprägten Havelgebiet mit WBalMo Havel-Spree stehen im Fokus der Darstellungen in Kapitel 3 (dritte Stufe des Konzeptes „Modellanwendung“). Folgende Modellkette wurde hier gewählt (siehe hierzu auch KALTOFEN et al. 2012b):

- (1) SIKO/SIMO¹ (SIKO/SIMO, 2001) als Simulationsmodell zur Generierung von (schwerpunktmäßig) stochastischen meteorologischen Monatswertreihen,
- (2) EGMO-D² (GLOS 1984) als Wasserhaushaltsmodell, welches die in (1) erzeugten Zeitreihen in stochastische quasi natürliche monatliche Abflussreihen transformiert und
- (3) WBalMo³ Havel-Spree als Bewirtschaftungsmodell, welches die implementierte Wasserbewirtschaftung den in (2) erzeugten Zeitreihen gegenüberstellt und somit im Ergebnis stochastisch bewirtschaftete Abflussreihen generiert.

¹ SIKO/SIMO ist ein mehrdimensionales Autoregressionsmodell zur Generierung vieljähriger synthetischer Monatswertreihen von meteorologischen und hydrologischen Größen.

² EGMO-D (GLOS 1984) ist ein Mehrkomponentenmodell, welches speziell für längere Zeitschritte konzipiert wurde.

³ WBalMo ist ein Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten. www.dhi-wasy.de

WBalMo Havel-Spree setzt sich aus verschiedenen Modellbausteinen für die jeweiligen Teileinzugsgebiete zusammen (Spree-Schwarze Elster; Havel; Havelnebenflüsse Nuthe, Plane, Buckau, Dosse-Jäglitz; Berlin). Für die Simulationsrechnungen mit dem Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree wurden die parametrisierten und abgestimmten behördlichen Ländermodelle verwendet. Die Bereitstellung der Modelle erfolgte durch die Länder Freistaat Sachsen, Brandenburg und Berlin. Entsprechende Nutzungsvereinbarungen wurden getroffen (Modellsystem Spree/Schwarze Elster mit dem Arbeitskreis Wassermenge in der Flussgebietsbewirtschaftung Spree/Schwarze Elster (BfG 2010a) und für die übrigen Havelgebiete mit dem Land Brandenburg (BfG 2010b)).

1 System- und Prozessanalyse für die Untersuchungen im Havelgebiet

Die System- und Prozessanalyse gliederte sich in die Unterpunkte Literaturrecherche, Datenbeschaffung, -aufbereitung und -auswertung sowie abschließend in die Prozessanalyse anhand von Beobachtungsdaten.

Auf der Grundlage von **Publikationen** und **Karten** erfolgte eine erste Beschreibung des wasserwirtschaftlichen Systems. Ziel dieser Recherche war die Erfassung der:

- (1) hydrologischen Verhältnisse (zum Beispiel Abflüsse und Wasserstände)
- (2) meteorologischen Verhältnisse (zum Beispiel Niederschlag und Verdunstung) und
- (3) Parameter wasserwirtschaftlicher Systeme (zum Beispiel Wassernutzungen wie Tagelbaubewirtschaftung, Speicherbewirtschaftung, Wasserver- und Abwasserentsorgung).

Dies ermöglichte eine erste Bewertung zur Bedeutung der Einflussgrößen für die wasserwirtschaftliche Fragestellung (vgl. Einleitung). Im Ergebnis der Literaturrecherche konnte eine **zielgerichtete Datenbeschaffung** bei den zuständigen Behörden erfolgen.

Nach der Datenbeschaffung folgte die Datenaufbereitung und -auswertung hinsichtlich ihrer Relevanz für die wasserwirtschaftliche Fragestellung. Diese **Prozessanalyse** beinhaltete statistische Untersuchungen der verschiedenen für das wasserwirtschaftliche System relevanten meteorologischen und hydrologischen Daten sowie der Nutzerdaten.

Im Ergebnis der Analyse der Nutzerdaten konnte zum Beispiel die **Bedeutung einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen** oder deren Zusammenwirken für das bewirtschaftete Dargebot abgeschätzt oder teilweise quantifiziert werden. Diese Informationen sind für folgende Anwendungen notwendig:

- > **Kalibrierung/Validierung** des Wasserhaushaltsmodells EGMO-D zur Simulation quasi natürlicher Abflüsse:
Hierzu werden quasi natürliche Abflüsse oder um Wassernutzungen bereinigte Abflüsse benötigt. Für detaillierte Informationen zur Naturalisierung wird auf die Literatur verwiesen (zum Beispiel KOCH et al. 2010).
- > **Festlegung von Szenarien der Wassernutzungsänderung** für Untersuchungen zur Veränderung des bewirtschafteten Dargebots in der Zukunft (siehe auch Tabelle 3).

Zusammengefasst führte die Prozessanalyse für das Havelgebiet zu folgenden Ergebnissen: Der aktive Braunkohlentagebau und die Bewirtschaftung der Bergbaufolgeseen in der Lausitz, die Bewirtschaftung der Talsperren und Speicher im Einzugsgebiet der oberen Spree, der Wasserbedarf von Industrie, Kraftwerken und Landwirtschaft haben den stärksten Einfluss auf den Wasserhaushalt im Spree- und unteren Havelgebiet. Die obere Havel wird beeinflusst durch die Bewirtschaftung der Mecklenburger Oberseen.

Das Spreegebiet (zusammen mit ausgewählten Pegeln) ebenso wie das untere Havelgebiet (Untere Havel-Wasserstraße), repräsentiert durch die Pegel Ketzin und Rathenow, sind in Abb. 1 dargestellt.

Die ausführliche Diskussion der Ergebnisse der Prozessanalyse sowie das gewählte methodische Vorgehen bei der Analyse der Daten (im Schwerpunkt statistische Homogenitäts- und Trenduntersuchungen) sind ausführlich im BfG-Bericht 1777, Teilbericht 1 (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012b) dargestellt.

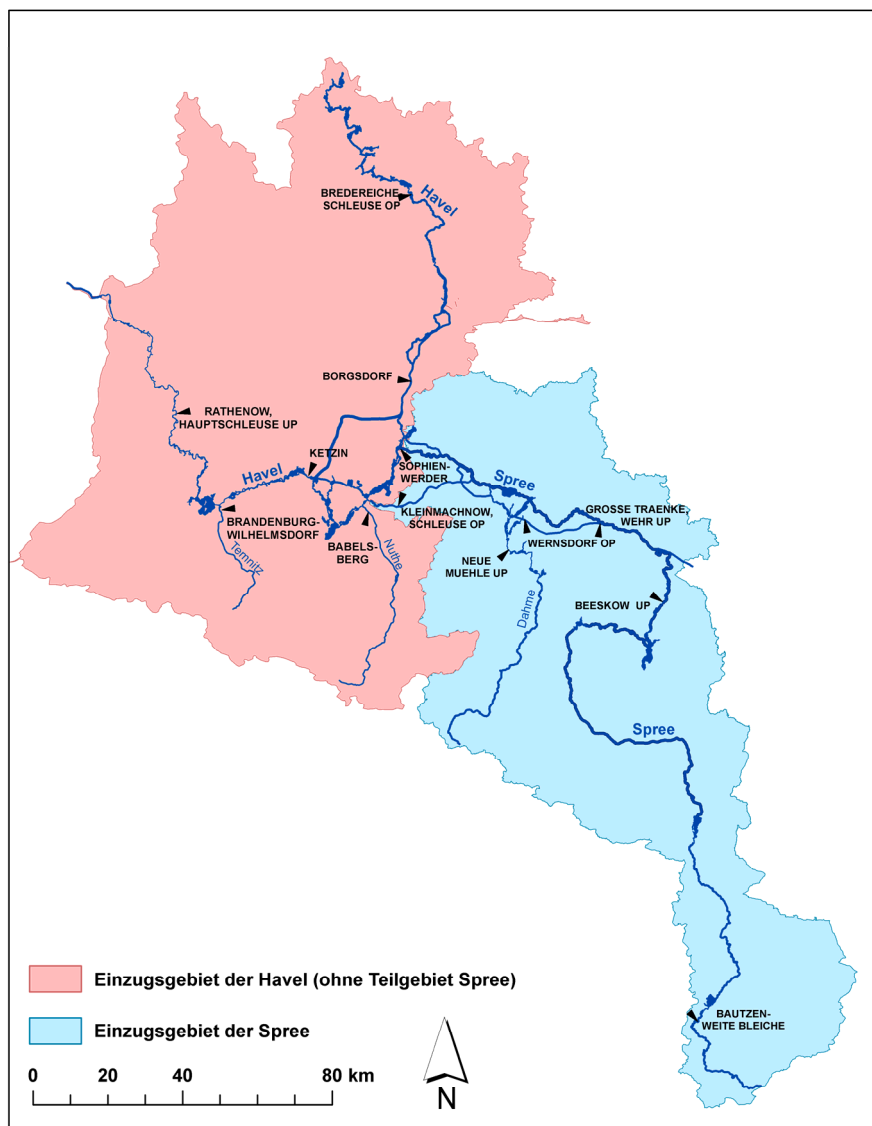


Abb. 1: Ausgewählte Pegel im Einzugsgebiet von Havel und Spree (entnommen aus EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012b). Die dargestellten Pegel dienen zur Orientierung für die Ergebnisdarstellungen im Kapitel 3.

2 Auswahl eines Wasserbewirtschaftungsmodells entsprechend der wasserwirtschaftlichen Fragestellung

Wasserbewirtschaftungsmodelle dienen zur Simulation des anthropogenen Einflusses in Gewässern. Im Wasserbewirtschaftungsmodell werden die Wassernutzungen (quantitative Angaben zu Einleitungen und Entnahmen sowie mathematische Algorithmen zur Darstellung der Speicherbewirtschaftung, der Wehrstellung oder der Pumpensteuerung) dem quasi natürlichen Wasserdargebot gegenübergestellt. Das **quasi natürliche Dargebot als eine hydrologische Randbedingung** (siehe auch Ausführungen in der Einleitung) kann anhand von beobachteten (die ggf. um die Nutzungen zu bereinigen sind) oder stochastisch simulierten Abflussreihen abgeschätzt werden.

Je nach wasserwirtschaftlicher Fragestellung können unterschiedliche detaillierte Modelltypen zur Anwendung kommen. Im Weiteren wird auf die zwei Bewirtschaftungsmodelle BEWASYS und WBalMo näher eingegangen:

> Tageswertmodell BEWASYS für Kanal- und Flusstauhaltungen

Mit Hilfe des Bewirtschaftungsmodells **BEWASYS** (Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Systeme⁴) werden vornehmlich künstliche Gewässer oder gestaute Gewässer (also Kanal- und Flusstauhaltungen) im Tageszeitschritt bilanziert. Das Modell wurde für das Netz der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder aufgebaut und umfasst somit auch die Flusstauhaltungen der Havel-Oder-Wasserstraße (zum Beispiel Haltung Spandau), der Unteren Havel-Wasserstraße (zum Beispiel Haltung Brandenburg, Haltung Bahnitz) und der Spree-Oder-Wasserstraße (zum Beispiel Haltung Mühlendamm, Haltung Charlottenburg). Detaillierte Informationen sind dem 2011 veröffentlichten Bericht zum Bewirtschaftungsmodell BEWASYS Rhein-Oder zu entnehmen (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011).

Die Steuerung einer Kanal- oder Flusstauhaltung erfolgt im Modellsystem auf die Einhaltung des Sollwasserstands (bzw. des entsprechenden Sollvolumens). Defizite treten auf, wenn das Sollvolumen in einer Haltung unterschritten wird. In diesem Fall wird mit Hilfe von Pumpen das Defizit befriedigt, bis das Sollvolumen erreicht wird. Im Postprozessing können die entsprechenden Pumpkosten ermittelt werden. Überschüsse treten auf, wenn das Sollvolumen überschritten wird. In diesem Fall wird das Wasser über Freileitungen oder Entlastungsanlagen aus der Haltung abgegeben.

Randbedingungen für dieses Modell sind (in der aktuellen Modellversion) kontinuierliche tägliche bewirtschaftete und beobachtete Abflüsse sowie beobachtete meteorologische Zeitreihen. Zur **Parametrisierung des Modells** werden zum Beispiel Wasserstands-Volumen-Beziehungen für Kanalstauhaltungen, Zufluss-Gefälle-Beziehungen für Flusstauhaltungen und Angaben zur Geometrie der Haltungen (Länge, Breite, Oberfläche, Anzahl der Schleusen u. a.) benötigt.

⁴ Das Modellsystem BEWASYS (Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Systeme) vom Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung (IWG) des Karlsruher Instituts für Technologie und vom Ruhrverband wurde im Zeitraum von 2007 bis 2009 vom IWG im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde weiterentwickelt.

Ein Nachteil bei der Verwendung von hydrologischen und meteorologischen Beobachtungsdaten als äußere Randbedingungen ist deren eingeschränkte Repräsentativität, da das anhand von Beobachtungsdaten abgeschätzte Wasserdargebot meistens nur einen kleinen Ausschnitt aus der hydrologischen Grundgesamtheit darstellt (LOUCKS & VAN BEEK 2005). Das bedeutet, dass die Untersuchungen mit diesem Bewirtschaftungsmodell zum Beispiel zu den Auswirkungen von veränderten Randbedingungen auf die Wasserbewirtschaftung des Kanalsystems nur für den Zeitraum der Stichprobe repräsentativ wären, nicht aber für die Grundgesamtheit, so dass die simulierten Ergebnisse und deren Auswertungen insbesondere für (seltene) Extremwerte nicht aussagekräftig sind. Dieses Defizit kann mithilfe von stochastisch generierten Abflussreihen behoben werden (aktuelles BfG-Forschungsprojekt mit einer Laufzeit von 2012 bis 2014).

> **Monatswertmodell WBalMo für Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung in Flussgebieten**

Ein weiteres Bewirtschaftungsmodell für Langzeitsimulationen ist **WBalMo**⁵ (water balance model), ein Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung in Flussgebieten. Das Modellsystem wurde für das Havelgebiet durch DHI-WASY, Dresden im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Zeitraum 2010 bis 2012 aktualisiert und weiterentwickelt. Grundlage waren jeweils die durch die Länder Freistaat Sachsen, Brandenburg und Berlin bereitgestellten behördlichen Modelle. Für weiterführende Informationen wird auf die Literatur verwiesen (KALTOFEN et al. 2012a, 2012b).

Als **Randbedingung** dient hier ein stochastisch generiertes quasi natürliches bzw. bewirtschaftetes (von oberhalb und außerhalb des Untersuchungsraums liegenden Gebieten) Wasserdargebot. Die wasserwirtschaftlichen Nutzungen werden als Monatsmittelwerte angegeben und dem quasi natürlichen Wasserdargebot im Zeitschritt eines Monats mengenmäßig gegenübergestellt. Im Havelprojekt erfolgte die Generierung von stochastischen meteorologischen Reihen mit einem stochastischen Simulationsmodell SIKO/SIMO, die dann mit einem Wasserhaushaltsmodell EGMO-D in stochastische Abflussreihen transformiert wurden (siehe hierzu auch Ausführungen in der Einleitung).

Zur Parametrisierung werden u. a. **Parameter** zur Durchflussaufteilung an Wehren und Algorithmen zur Speicherbewirtschaftung benötigt.

Nach dem Aufbau des Bewirtschaftungsmodells erfolgt die Überprüfung der Modellgüte. Dies kann anhand eines visuellen Vergleiches von beobachteten und simulierten Daten und/oder anhand einer Prüfung von zuvor festgelegten Gütemaßen erfolgen. In Abb. 2 ist jeweils für beide Bewirtschaftungsmodelle ein Vergleich von simulierten und beobachteten Daten dargestellt.

⁵ WBalMo (water balance model): Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten. www.dhi-wasy.de

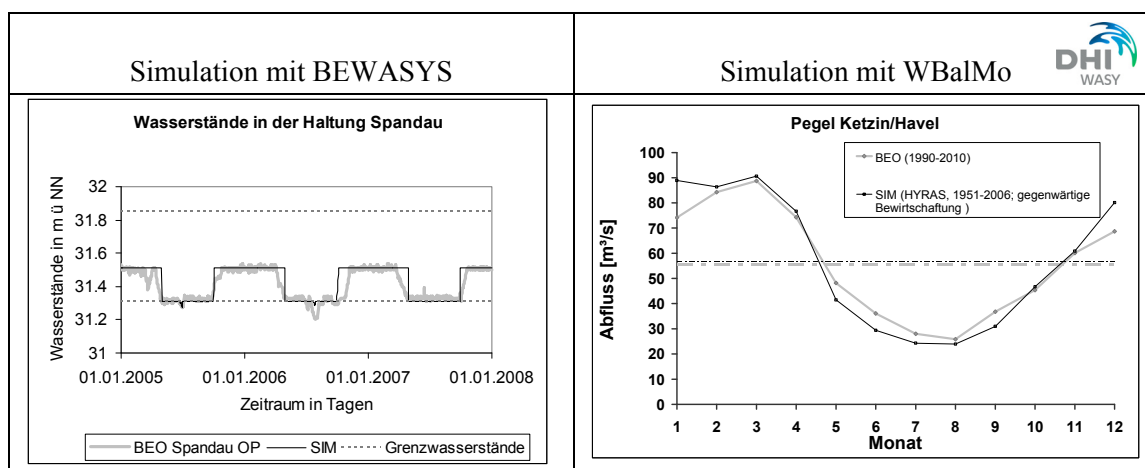


Abb. 2: Vergleich von simulierten Daten (SIM) mit Beobachtungsdaten (BEO) zur Einschätzung der Güte der Bewirtschaftungsmodelle. Links: Vergleich der simulierten Wasserstände in der Flusstauhaltung Spandau (Havel-Oder-Wasserstraße) mit Beobachtungen. Rechts: Vergleich der simulierten bewirtschafteten Abflüsse am Pegel Ketzin (Untere Havel-Wasserstraße) mit den gewässerkundlichen Hauptzahlen von 1990 bis 2010. Grundlage der Simulationen mit WBalMo ist die Modellkette: Stochastisches Modell SIKO/SIMO → Wasserhaushaltsmodell EGMO-D → Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree.

In der linken Abb. 2 sind die mit dem Modell BEWASYS im Zeitraum von Januar 2005 bis Dezember 2008 simulierten täglichen Wasserstände den beobachteten Wasserständen (Sollwasserstände) am Staupunkt der Flusstauhaltung Spandau gegenübergestellt. Der Sollwasserstand weist einen ausgeprägten saisonalen Jahresgang auf, der durch die Simulation gut nachgebildet werden kann. In der rechten Abb. 2 sind die mit WBalMo simulierten vieljährigen Monatsmittelwerte und mittleren Jahreswerte am Pegel Ketzin dargestellt. Eine sehr gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Daten ist auf der Jahresebene zu erkennen. Eine leichte Unterschätzung der Beobachtungen durch die Simulation wird bei den Monatswerten in den Sommermonaten deutlich.

Im folgenden Kapitel 3 werden nur die Ergebnisse präsentiert, die mit dem Modellsystem WBalMo Havel-Spree im Rahmen des KLIWAS-Projektes ermittelt wurden.

3 Ergebnisse aus den Untersuchungen im Havelgebiet mit dem Bewirtschaftungsmodell WBalMo

Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden im Rahmen des Projektes „**WBalMo Havel-Spree** – Untersuchungen der Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havelgebiet unter Berücksichtigung des Klimawandels“.

Basis der nachfolgend dargestellten Ergebnisse ist die in der Einleitung bereits skizzierte Modellkette. Mit dem stochastischen Modell SIKO/SIMO werden stochastische meteorologischen Eingangsgrößen erzeugt. Im Ergebnis stehen 300 statistische Realisierungen eines jeden Szenariojahres zur Verfügung.

Das Wasserhaushaltsmodell EGMO-D zur Ermittlung des quasi natürlichen Dargebots basiert auf der potenziellen Verdunstung nach Turc/Ivanov (d. h. Berücksichtigung der Größen relative Luftfeuchte, Globalstrahlung und Temperatur, siehe auch DVWK-M 238 1996). Das Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree dient zur Ermittlung des bewirtschafteten Dargebots.

Eine detaillierte Beschreibung der Herangehensweise sowie die Auswertung und Diskussion aller Ergebnisse wird in einem BfG-Bericht in 2013 dargestellt.

Diese Untersuchungen zu den zukünftigen Veränderungen des wasserwirtschaftlichen Dargebots sind eingebettet in das Ressortforschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung KLIWAS „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen“ (Laufzeit 2009-2013, www.kliwas.de).

Das **Auswertungskonzept** für die aktuelle Fragestellung bestand aus folgenden **vier** Punkten:

1. Festlegung der **Randbedingungen für die Gegenwart und Entwicklung von Szenarien für mögliche Veränderungen in der Zukunft**

> **Meteorologische Randbedingungen für Gegenwart und Zukunft**

Die meteorologischen Randbedingungen für das stochastische Modell SIKO/SIMO für die **Gegenwart** sind Beobachtungen wie der HYRAS-Datensatz (RAUTHE et al. 2011) sowie die Gegenwartssimulationen der Klimamodelle (sog. Kontrollläufe). Für die Zukunft bilden Klimaprojektionen die Basis für das stochastische Modell. Mit dem stochastischen Modell wurden 300 Realisierungen jedes Szenariojahres erzeugt.

Um die Unsicherheiten, die den Klimaprojektionen innewohnen, aufzuzeigen, wurden im Rahmen von KLIWAS eine Vielzahl von Zukunftssimulationen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Abflussgeschehen ausgewertet. Einzelheiten hierzu finden sich bei LINGEMANN et al. (2013, s. S. 47ff.). Abbildung 3 zeigt die Bandbreite der Ergebnisse für den Niedrigwasserkennwert NM7Q am Pegel Rathenow (Untere Havel-Wasserstraße), die sich auf Grundlage von 20 bzw. 17 Klimaprojektionen für die "nahe" bzw. "ferne" Zukunft nach einer linearen Biaskorrektur unter Verwendung des hydrologischen Modells HBV-D (Verdunstungsberechnung nur Temperatur-basiert) ergibt. Es ist darauf hinzuweisen, dass dieser Prozessierungspfad aufgrund des Verdunstungsansatzes im Vergleich zu anderen eher zu mehr Trockenheit tendiert (vgl. LINGEMANN et al. 2013, s. S. 47ff.).

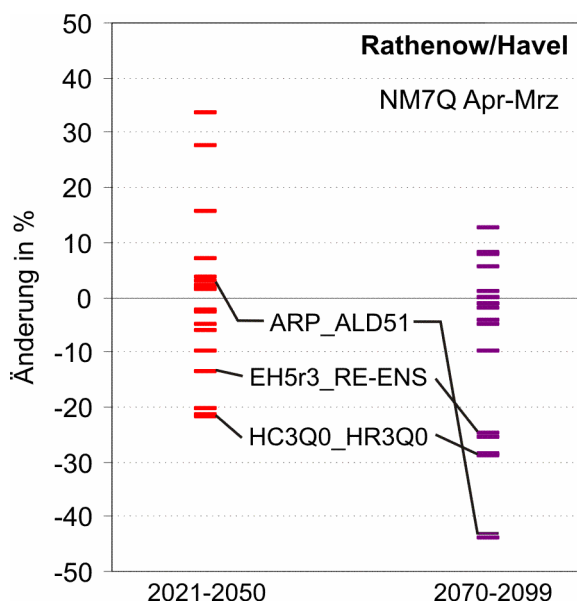





Abb. 3:

Änderungssignale des Niedrigwasserkennwertes NM7Q auf Basis von 20 (nahe Zukunft, 2021-2050) bzw. 17 (ferne Zukunft, 2071-2100) Abflussprojektionen (HBV-D, Verdunstungsberechnung nur Temperatur-basiert). Einordnung der ausgewählten drei Modellketten

Aus diesem sog. Multi-Modell-Ensemble wurden im Rahmen des Havelprojektes drei Klimaprojektionen ausgewählt. Diese beruhen auf drei verschiedenen globalen Klimamodellen (alle Emissionsszenario A1B) in Verbindung mit jeweils einem anderen regionalen Klimamodell und repräsentieren somit einen Querschnitt der europäischen Forschungslandschaft im Bereich der Klimamodellierung (vgl. Tabelle 2). Hinsichtlich der Niedrigwasserprojektionen geben sie in der nahen Zukunft (2021-2050) die Gesamtcharakteristik des HBV-D-Ensembles gut wieder (vgl. Abb. 3); unplausible Simulationen und Ausreißer werden dabei nicht berücksichtigt. Für die ferne Zukunft (2070-2099) liegen die Projektionen eher am "trockenen Ende" des Ensembles. 2099 als Ende des Zeitraumes für die ferne Zukunft hat datentechnische Gründe.

Tabelle 2

Ausgewählte Klimamodellketten

Land	Modellkette	Institution
	C20-A1B-ARP-ALD51 (im Weiteren französische Modellkette genannt)	Centre National de Recherche Météorologiques (CNRM)
	C20-A1B-EH5r3_RE-ENS (im Weiteren deutsche Modellkette genannt)	Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M)
	C20-A1B-HCQ0-HRQ0 (im Weiteren englische Modellkette genannt)	Met Office Hadley Centre (HC)

> Nutzerdaten für Gegenwart und Zukunft

Für die **Gegenwart** werden tatsächliche oder genehmigte Nutzerdaten verwendet. Für die **Zukunft** (also bis 2100) müssen Szenarien zur Wassernutzung angenommen werden.




Im Rahmen des Havelprojektes wurden ein Basisszenario (BASIS) und davon abweichend jeweils vier veränderte Wassernutzungsszenarien festgelegt (siehe Tabelle 3). Die hier dargestellten Ergebnisse (Abb. 4 bis 7) resultieren aus den Annahmen im BASIS-Szenario. Das sind im Wesentlichen:

- Planung zur Weiterführung der Braunkohletagebaue der Vattenfall Europe Mining AG (Anschlussfelder von Welzow-Süd und Nochten) wurden beachtet (Vattenfall Europe Mining 2011).
- Entwicklung der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung aus dem Wasserversorgungskonzept für Berlin (BWB 2008), hier Wahl des dort dargestellten Szenarios Basis bis 2040, danach keine Änderung des Zustandes,
- Schifffahrt entsprechend Status quo und
- Bewirtschaftung der Mecklenburger Oberseen entsprechend Status quo.

Die Annahmen und Ergebnisse der Szenarien 1 bis 4 (siehe Tabelle 3) werden im geplanten BfG-Bericht in 2013 dargestellt.

Tabelle 3

Kopplung von Szenarien der Wasserbewirtschaftung mit denen des Klimawandels für Gegenwart und Zukunft

Szenarien der Wasserbewirtschaftung	Szenario 0 BASIS	Szenario 1 Tagebau*	Szenario 2 Kraftwerke*	Szenario 3 Schiffahrt*	Szenario 4 Integral*
Meteorologie					
HYRAS-Datensatz	Abb. 4** Abb. 5	Erläuterung und Auswertungen im geplanten BfG-Bericht 2013			
Klimaprojektionen					
	Abb. 6 Abb. 7	Erläuterung und Auswertungen im geplanten BfG-Bericht 2013			
					
					

* In den Szenarien 1 bis 3 ist jeweils eine Annahme zur Wassernutzung im Vergleich zur BASIS-Variante verändert worden:

- veränderte Tagebaubewirtschaftung und bergbaubedingte Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Szenario 1, Tagebau. Keine Inanspruchnahme des Anschlussfeldes des Tagebaus Nochten (Vattenfall Europe Mining 2011).
- Ermittlung der Nutzungsverluste durch den Kraftwerksbetrieb mit einem externen Modell in Szenario 2, Kraftwerke und
- erhöhter Schleusungswasserbedarf in Szenario 3, Schifffahrt.

Szenario 4 integriert alle Annahmen aus den Szenarien 1 bis 3, die zu einer Verschärfung der Abflusssituation führen.

** Bewirtschaftung deaktiviert, d. h. Simulation des quasi-natürlichen Zustandes

2. Festlegung von Auswertungszeiträumen für die Gegenwart (bzw. Status quo), für die nahe Zukunft und für die ferne Zukunft

Das Bewirtschaftungsmodell WBalMo kann in der hier verwendeten Konfiguration nur vollständige Fünfjahresperioden bilanzieren (d. h. 20 Perioden zu je fünf Jahren). Das hat zur Folge, dass die Auswertungszeiträume des Bewirtschaftungsmodells den Zeiträumen der Klimaprojektion angepasst werden mussten. Die Bewirtschaftung der Gegenwart (Status quo) wird repräsentiert durch den Zeitraum der Bewirtschaftungsperiode 2 von 2008 bis 2012. Die Bewirtschaftung der nahen Zukunft wird abgebildet durch den Zeitraum von 2018 (Beginn Periode 4) bis 2052 (Ende Periode 10) und die Bewirtschaftung der fernen Zukunft wird definiert durch den Zeitraum von 2068 (Beginn Periode 14) bis 2102 (Ende Periode 20).

3. Festlegung geeigneter Variablen zur Auswertung (zum Beispiel: Abflüsse an bestimmten Pegeln, Defizite durch Unterschreitung von vorgegebenen Entnahmen bei Nutzern)
4. Festlegung von Indikatoren (zum Beispiel Hauptwerte, Dauerlinien, Wahrscheinlichkeiten)

Im Folgenden werden nur einige Projektergebnisse präsentiert, die jedoch zeigen, welche **verschiedenen Fragestellungen** mit dem Bewirtschaftungsmodell gelöst werden können:

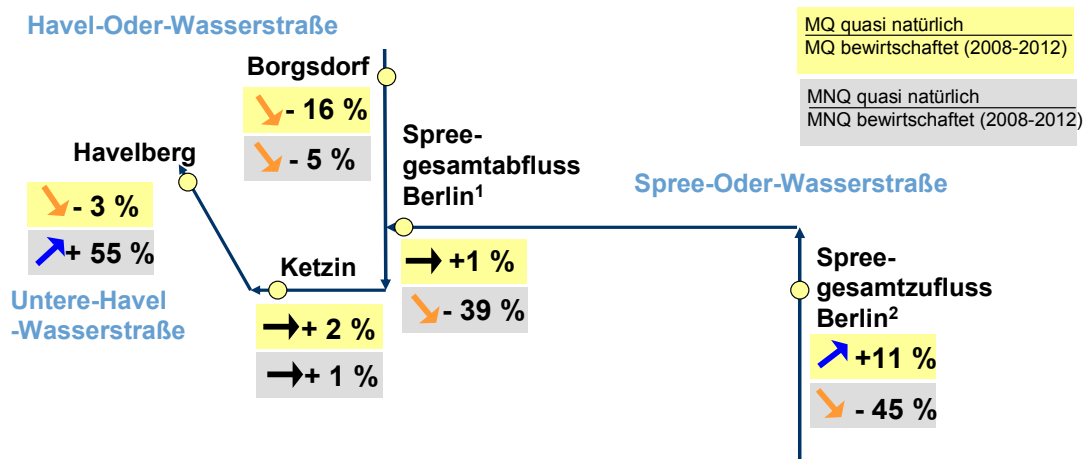
→ Fragestellung 1

Wie ändern sich die heutigen Abflüsse im Havelgebiet, wenn die Wassernutzungen nicht existieren?

In Abb. 4 ist sowohl mit Pfeilen als auch mit Zahlenwerten dargestellt, wie sich die aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten mittleren Niedrigwasserabflüsse und mittleren Abflüsse an ausgewählten Pegeln oder Gewässerquerschnitten verändern, wenn die angenommenen Wassernutzungen (repräsentiert durch das Wassernutzungsszenario BASIS im Zeitraum 2008-2012) nicht existieren (also modelltechnisch ausgeschaltet sind). Bei Nichtberücksichtigung der Wasserbewirtschaftung wird ein quasi natürlicher Zustand simuliert. Ein Klimawandel wird nicht angenommen. Meteorologische Datenbasis ist der HYRAS-Datensatz (RAUTHE et al. 2011).

Der **mittlere Gesamtzufluss** zu Berlin würde ansteigen, da die Flutung von Tagebaufolgesen sowie Entnahmen (u. a. Kühlwasser, Versickerungsverluste, Verdunstungsverluste Teichwirtschaften) nicht berücksichtigt würden. Die mittleren Abflüsse am Pegel Borgsdorf würden u. a. aufgrund der fehlenden Speisung durch die Mecklenburger Oberseen (MOS) zurückgehen.

Die **mittleren Niedrigwasserabflüsse** in der Spree würden u. a. bedingt durch die fehlende Speicherbewirtschaftung und fehlende Einleitungen von Sumpfungswässern in der Lausitz sinken. Reduzieren würden sich ebenfalls die mittleren Niedrigwasserabflüsse am Pegel Borgsdorf durch die fehlende Überleitung aus den MOS. Der Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der Havel vom Pegel Ketzin zum Mündungspegel Havelberg ist u. a. bedingt durch die Nichtberücksichtigung der Staubewässerung.



¹ Summe der Abflüsse des Pegels Sophienwerder und des Teltowkanals (Mündungsprofil)

² Summe der Abflüsse der Pegel Große Tränke, Wernsdorf und Neue Mühle

Abb. 4: Quasi natürliche Abflüsse (MQ, MNQ; ohne Wasserbewirtschaftung, 300 stochastische Realisierungen) bezogen auf das bewirtschaftete Dargebot (MQ, MNQ; mit Wasserbewirtschaftung, 2008-2012, 300 stochastische Realisierungen). Der mittlere Gesamtzufluss zu Berlin würde ansteigen, da u. a. keine Flutung von Tagebauen stattfinden würde. Der mittlere Abfluss und mittlere Niedrigwasserabfluss am Pegel Borgsdorf würde zurückgehen, da keine Überleitung aus den Mecklenburger Oberseen stattfindet.

→ Fragestellung 2

Wie entwickeln sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havelgebiet in naher und ferner Zukunft unter Annahme des Wassernutzungsszenarios BASIS?

In Abb. 5 sind wiederum durch Pfeile und Zahlenwerte die prozentualen Veränderungen der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten mittleren bewirtschafteten Abflüsse (MNQ, MQ) in der nahen und fernen Zukunft für ausgewählte Pegel oder Gewässerquerschnitte dargestellt. Es wird postuliert, dass sich die Charakteristik des Referenzklimas aus dem HYRAS-Datensatz (1951-2006) bis 2100 nicht verändert. Dadurch kann der Einfluss der Veränderungen der Wassernutzungen (Szenario BASIS) auf den Wasserhaushalt quantifiziert werden. Die hier dargestellten prozentualen Änderungen beziehen sich jeweils auf den Referenzzeitraum von 2008 bis 2012.

In Abb. 5 ist zu erkennen, dass sich die **mittleren Abflüsse** in der nahen Zukunft infolge der angenommenen Bewirtschaftung nicht verändern (Havel) bzw. leicht ansteigen (Spree). Die mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft würden bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree leicht zurückgehen.

Die **mittleren Niedrigwasserabflüsse** würden in der nahen Zukunft durch die Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz und durch die noch bestehenden Sumpfungswässer in der Spree stark zunehmen. Dieser Effekt setzt sich in der Unteren Havel-Wasserstraße fort. Der Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der fernen Zukunft in der Spree-Oder-Wasserstraße als auch in der Unteren Havel-Wasserstraße ist etwas geringer, da entsprechend der Modellannahme in der fernen Zukunft keine Sumpfungswässer mehr in das System eingeleitet werden würden. Am Pegel Borgsdorf sind aufgrund der Annahmen des Bewirtschaftungsszenarios BASIS (Bewirtschaftung der Mecklenburger Oberseen bis 2100 entspricht dem Status quo) keine Veränderungen im Abflussverhalten feststellbar.

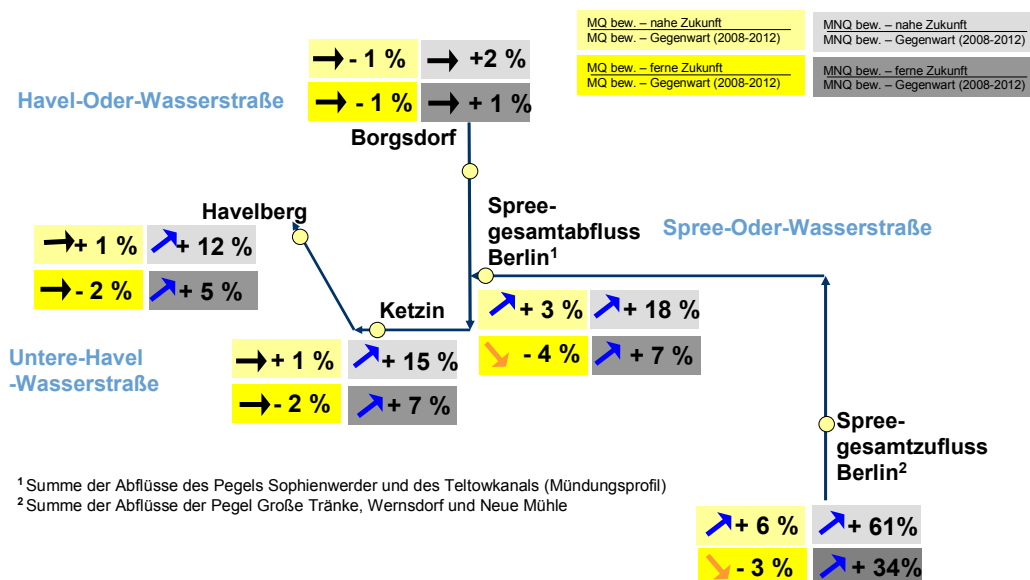


Abb. 5: Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse (Mittelwerte aus 300 stochastischen Realisierungen) in naher und ferner Zukunft bezogen auf die Bewirtschaftung im Referenzzeitraum (2008-2012) unter der Annahme, dass kein Klimawandel stattfindet. In der nahen und fernen Zukunft sind die Veränderungen der mittleren Abflüsse aufgrund des gewählten Bewirtschaftungsszenarios (BASIS) sehr gering. Der Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der Spree-Oder-Wasserstraße und fortgesetzt in der Unteren Havel-Wasserstraße in der nahen und fernen Zukunft resultiert aus den Annahmen zur Bewirtschaftung der Tagebaue und der Bergbaufolgesen.

→ Fragestellung 3

Wie entwickelt sich der mittlere bewirtschaftete Gesamtabfluss von Berlin in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung des Klimawandels und der Änderung in der Wasserbewirtschaftung?

In Abb. 6 ist der zuvor ermittelte mittlere bewirtschaftete Gesamtabfluss von Berlin (Summe der Abflüsse des Pegels Sophienwerder und des Teltowkanals (Mündungsprofil), Annahmen des Wasserbewirtschaftungsszenarios BASIS; 300 stochastische Realisierungen) für den Status quo, für die nahe Zukunft und für die ferne Zukunft für die drei ausgewählten Klimaprojektionen (französische, deutsche und englische Modellkette) dargestellt. Alle Säulen beziehen sich auf den mittleren bewirtschafteten Abfluss unter dem Referenzklima gemäß des Datensatzes HYRAS. Die Projektionen für die nahe und ferne Zukunft ergeben sich durch Multiplikation des jeweiligen Klimaänderungssignals mit dem Abfluss der Gegenwart bzw. dem Status quo.

Im Vergleich der nahen Zukunft mit dem Status quo sind gegenläufige Entwicklungen sichtbar: Die französische Modellkette führt zu einem Anstieg (um 12 %) und die englische Modellkette zu einem Rückgang (um 20 %) der bewirtschafteten mittleren Abflüsse. Die deutsche Modellkette führt zu keiner Veränderung. Im Vergleich der fernen Zukunft mit dem Status quo zeigt sich fast keine Veränderung in der deutschen Modellkette und eine Reduzierung um 35 % (bei der französischen Modellkette) bzw. 29 % (bei der englischen Modellkette).

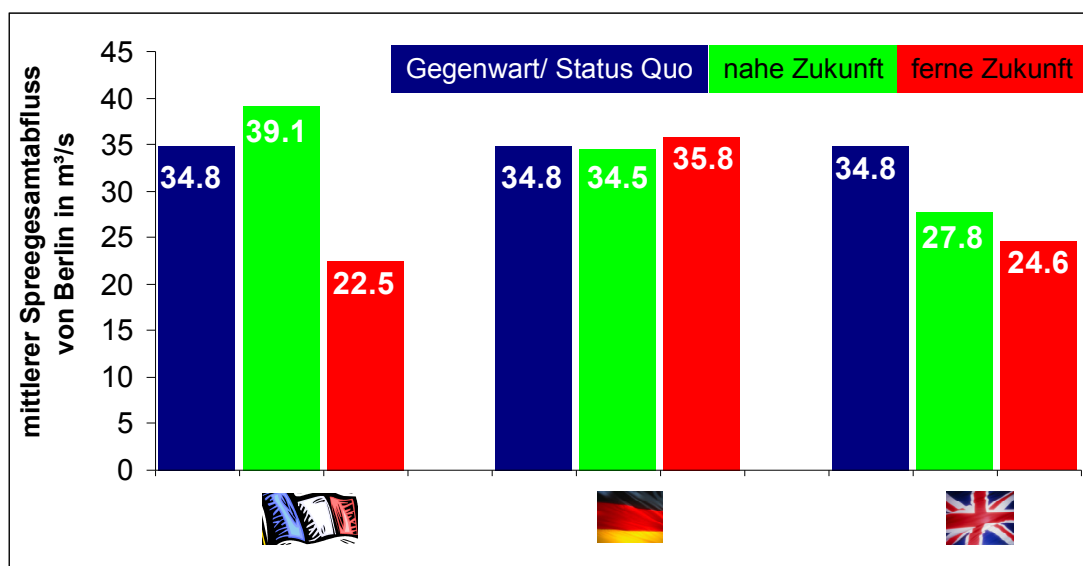


Abb. 6: Gemäß BASIS-Szenario bewirtschafteter mittlerer Gesamtabfluss (aus 300 stochastischen Realisierungen) von Berlin (Summe der Abflüsse des Pegels Sophienwerder und des Teltowkanals) in der Gegenwart (2008-2012), in der nahen Zukunft (2018-2052) und in der fernen Zukunft (2068-2102) unter Berücksichtigung der drei Klimaprojektionen (französische, deutsche und englische Modellkette). Im Vergleich der nahen Zukunft zur Gegenwart werden unterschiedliche Entwicklungen sichtbar. Im Vergleich der fernen Zukunft zur Gegenwart wird ein Rückgang in der französischen und englischen Modellkette und keine Veränderung in der deutschen Modellkette sichtbar.

In Abb. 5 sind die Änderungen der bewirtschafteten mittleren Abflüsse dargestellt, die nur aus den Annahmen des Szenarios BASIS für die Wasserbewirtschaftung resultieren. In Abb. 6 sind die bewirtschafteten mittleren Abflüsse dargestellt, die sowohl auf den Annahmen des Szenarios BASIS für die Wasserbewirtschaftung als auch auf den Annahmen zur Entwicklung des Klimas beruhen. Durch die Verknüpfung beider Ergebnisse kann die Fragestellung beantwortet werden, welche Randbedingung (Szenarien von Klimawandel oder Wassernutzungsänderungen) den Wasserhaushalt stärker beeinflussen.

In Abb. 7 ist die prozentuale Abweichung des bewirtschafteten mittleren niedrigen (MNQ) und bewirtschafteten mittleren (MQ) Gesamtabflusses von Berlin (aus 300 stochastischen Realisierungen; Summe der Abflüsse des Pegels Sophienwerder und des Teltowkanals) in der nahen und fernen Zukunft jeweils bezogen auf den Bewirtschaftungszeitraum von 2008 bis 2012 der drei gewählten Modellketten dargestellt. Die Änderung, die allein aus dem Einfluss der Wassernutzungsänderung (Annahme Wasserbewirtschaftungsszenario BASIS) resultiert, ist als Rhombus dargestellt. Die senkrechten schwarzen Striche symbolisieren die Spannweite der Veränderung (Minimum und Maximum), die sich ergeben würde, wenn sowohl das Wassernutzungsszenario BASIS als auch die der drei Klimaprojektionen zugrunde gelegt werden würden.

Es wird deutlich, dass die Veränderungen der bewirtschafteten Abflüsse, die durch die resultierende Spannweite der gewählten Klimaprojektionen hervorgerufen werden, stärker sind als die Veränderungen, die aus dem Bewirtschaftungsszenario resultieren. Diese Aussage lässt sich aber nicht verallgemeinern. Die Verhältnisse können sich verändern oder sogar umkehren, wenn entweder andere Pegel oder andere Bewirtschaftungsszenarien und Klimaprojektionen ausgewählt werden würden.

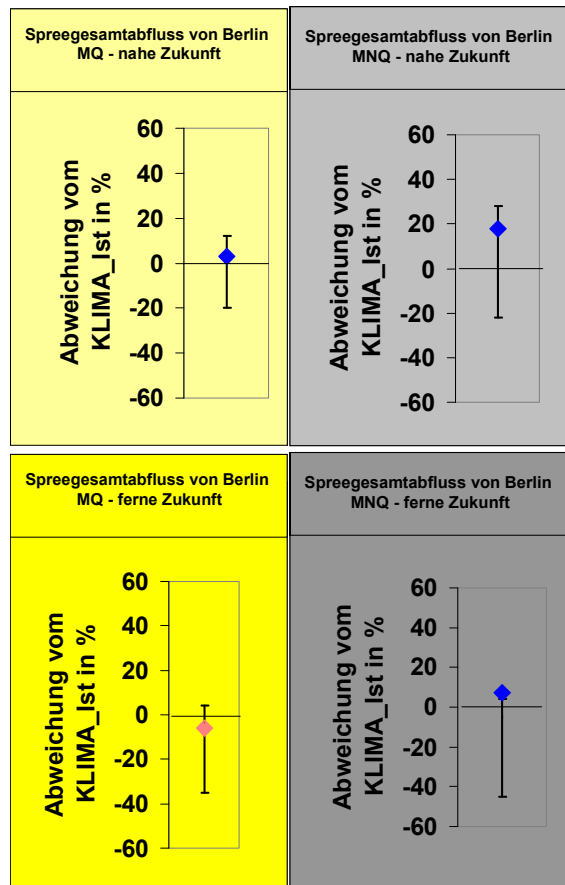


Abb. 7:

Prozentuale Änderung des bewirtschafteten Gesamtabflusses von Berlin (Summe der Abflüsse des Pegels Sophienwerder und des Teltowkanals, 300 stochastische Realisierungen) in der nahen (2018-2052) und fernen (2068-2102) Zukunft (resultierend aus der Spannweite der gewählten Klimaprojektionen und dem Szenario BASIS für die Wasserbewirtschaftung – dargestellt als Rhombus) bezogen auf die Gegenwart (2008-2012). Die Ergebnisse sind nur unter den angegebenen Randbedingungen (drei Klimaszenarien und ein Bewirtschaftungsszenario) gültig und nicht verallgemeinerbar. Es wird deutlich, dass die Veränderungen der bewirtschafteten Abflüsse, die durch die resultierende Spannweite der gewählten Klimaprojektionen hervorgerufen werden, stärker sind als die Veränderungen, die aus dem Bewirtschaftungsszenario resultieren.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte dreistufige Konzept (System- und Prozessanalyse, Modellauswahl und Modellaufbau, Modellanwendung) ist allgemeingültig zur Lösung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen in anthropogen stark beeinflussten Gebieten und ist auf jedes Flussgebiet übertragbar. Die einzelnen Konzeptstufen untergliedern sich in Arbeitsschritte, die jeweils mit Projektergebnissen (hauptsächlich aus dem aktuellen Havelprojekt „Untersuchungen zu den Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havelgebiet unter Berücksichtigung des Klimawandels“) untersetzt wurden. Es ist geplant, das hier vorgestellte Untersuchungskonzept auf weitere anthropogen geprägte Einzugsgebiete der deutschen Elbe (wie zum Beispiel das Saalegebiet) zu übertragen.

Es wurden zwei Bewirtschaftungsmodelle (BEWASYS und WBalMo) mit ihren unterschiedlichen Einsatzgebieten vorgestellt. Beide Modelle sind geeignet, um die Auswirkungen von Klimawandel und Nutzungsänderung auf den Wasserhaushalt in anthropogen stark beeinflussten Gebieten zu simulieren. Die entsprechenden Untersuchungen mit BEWASYS Rhein-Oder wurden nicht gezeigt, hier wird auf die Literatur (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012a) verwiesen. Die Analysen mit dem Modell WBalMo wurden im Havelgebiet durchgeführt. Die ersten Ergebnisse konnten hier vorgestellt werden. Die Ergebnisse des Projektes werden in einem BfG-Bericht 2013 veröffentlicht.

Die hier vorgestellten (Teil)-Ergebnisse zeigen, dass die vergleichende Darstellung mehrerer Methoden in Form von Ergebnisbandbreiten unerlässlich ist, um zu einer Einschätzung der Belastbarkeit und Charakteristik von Modellsimulationen zu kommen. Dies trifft insbesondere auf die Simulationen der zukünftigen Entwicklung der hydrometeorologischen und hydrologischen Verhältnisse zu (vgl. LINGEMANN et al. 2013).

Neben den Annahmen zur Entwicklung des Klimas müssen in anthropogen beeinflussten Gebieten auch Annahmen zur Entwicklung der Wassernutzung getroffen werden. Sowohl die Wahl der Klimawandel- als auch der Bewirtschaftungsszenarien kann einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Literatur

BfG (2010a): Nutzung der aktuellen Ländervariante des Bewirtschaftungsmodells WBalMo Spree-Schwarze Elster im WBalMo Havel-Spree im Rahmen des Forschungsprojektes KLIWAS durch die BfG vom 15. Oktober 2010, Vereinbarung mit Landesdirektion Sachsen (vormals: Landesdirektion Dresden), unveröffentlicht.

BfG (2010b): Nutzung der WBalMo-Bausteine Havel, Nuthe, Plane, Buckau, Rhin und Dosse-Jäglitz im Rahmen des Forschungsprojektes KLIWAS am 20. Dezember 2010, Vereinbarung mit Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, unveröffentlicht.

BWB (2008): Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den Berliner Wasserbetrieben versorgte Umland (Entwicklung bis 2040). Auftraggeber Berliner Wasserbetriebe, Auftragnehmer: UBB Umweltvorhaben Dr. Klaus Möller GmbH.

DVWK-M 238 (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Verantwortlicher Herausgeber: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Gluckstraße 2, D-53115 Bonn, bearbeitet vom DVWK-Fachausschuss „Verdunstung“.

- DWD (2001): Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem Klimaveränderungen - Untersuchungen zum Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen, Abschlussbericht, Teil B: Langzeitverhalten des Niederschlags, der Verdunstung und der Bilanzen.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., M. CARAMBIA, J. HOHENRAINER, E. NILSON, K. RICHTER (2012a): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems. In: Veranstaltungen 2/2012 "Überregionale Wasserbewirtschaftung - Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle". Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 42-53.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, K. RICHTER, R. OPPERMAN, S. KRAUSE (2011): BEWASY Rhein-Oder - Tageswertmodell zur Simulation der Wasserbewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. BfG-Bericht 1730.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, B. WILLAMOWSKI (2012b): Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin, 6. Fassung, Teilbericht 1. BfG-BAW-Bericht-1777. Entwurf vom Dezember 2012. Auftraggeber: WNA Berlin.
- FALKENMARK, M., C. WIDSTRAND (1992): Population and Water Resources: A Delicate Balance (Population Bulletin), Population Reference Bureau, Washington D. C., USA.
- GLOS, E. (1984): Die Einzugsgebietsmodellversion EGMO-D für Durchflussberechnungen in Dekaden- bis Monatsschritten. Teilbericht zu Lauterbach, D. et al.: ASU Spree, 1. Ausbaustufe, Forschungsbericht, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Projektträger: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Projektleitung: Institut für Hydrologie der Universität Freiburg und BfG Koblenz, Beiträge: BfG, DWD, BGR, IHF Freiburg, UBA, BKG, StBA Wiesbaden, AmilGeo und LAWA, 100 Tafeln und Karten, Bonn.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet - Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick.
- KALTOFEN, M., F. MÜLLER, M. SCHRAMM (2012a): Untersuchungen der Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havelgebiet unter Berücksichtigung des Klimawandels. Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde. unveröffentlichte Zwischenberichte und Präsentationen.
- KALTOFEN, M., M. SCHRAMM, F. MÜLLER (2012b): Bewirtschaftung des Havel-Spree-Gebiets mit WBalMo. In: Veranstaltungen 2/2012 "Überregionale Wasserbewirtschaftung - Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle". Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 81-90.
- KOCH, H., F. WECHSUNG, U. GRÜNEWALD (2010): Analyse jüngerer Niedrigwasserabflüsse im tschechischen Elbeeinzugsgebiet. Hydrologie und Wasserwirtschaft, 54(3): 169-178.
- LINGEMANN, I., E. NILSON, M. CARAMBIA, P. KRAHE (2013): Änderungen des Wasserhaushalts der Elbe im 21. Jahrhundert. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 47-58
- LOUCKS, P. D., E. VAN BEEK (2005): Water Resources Systems Planning and Management - An Introduction to Methods, Models and Applications.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. GRATZKI (2011): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins - Part 1: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results.
- SIKO/SIMO (2001): Programm zur stochastischen Simulation. Benutzerhandbuch zu SIKO/SIMO, Version 3.1. DHI-WASY GmbH, Dresden.
- Statistische Ämter (2010): Statistische Ämter des Bundes und der Länder, ausgewählte Regionaldaten für Deutschland, Ausgabe 2010.

Vattenfall Europe Mining (2011): SUP Welzow (2011), Variantenbetrachtungen zur Weiterführung der Tagebaue Nochten und Welzow-Süd in die Anschlussgebiete und deren perspektivische Flutung, Übergabe von Vattenfall Europe Mining AG an den AK Wassermenge in der AG Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster, 09. Februar 2011.

Kontakt:

Dr. Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5187

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: EbnerVonEschenbach@bafg.de

Jochen Hohenrainer

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5180

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: hohenrainer@bafg.de

Panta rhei – Wechselwirkungen zwischen Landnutzung, Klimawandel und Wasserhaushalt

Gunnar Lischeid

1 Einleitung

Wasser ist das wichtigste Lebensmittel für den Menschen und essenzielles Produktionsmittel für die Erzeugung seiner Nahrung. Wasser ist aber auch von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaft. Es wird für viele Produktionsprozesse benötigt, für die Kühlung z. B. von Kraftwerken, für die Speicherung von Strom und als Träger des Transportes in der Schifffahrt. Daneben stellen Oberflächengewässer und Feuchtgebiete Hotspots der Biodiversität dar und spielen eine große Rolle für den Tourismus. Wassermangel beeinträchtigt diese Funktionen in kritischer Weise. Auf der anderen Seite stellt ein Zuviel an Wasser, z. B. als Hochwasser, während stark erodierend wirkender heftiger Niederschlags- oder Schneeschmelzereignisse oder bei länger andauerndem Grundwasserhochstand, eine Gefährdung dar. Der Mensch greift deshalb seit Jahrhunderten gezielt oder ungewollt, als Nebeneffekt anthropogener Handlungen, massiv in den Wasserhaushalt ein. In diesem Zusammenhang werden aktuell vor allem die beiden großen Einflussfaktoren der Landnutzung und des Klimawandels in ihren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt diskutiert. Diese setzen den Rahmen, innerhalb dessen sich die Wasserwirtschaft bewegt.

2 Landnutzung und Wasserhaushalt

Auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland fielen in den letzten Jahrzehnten im Mittel 859 mm Niederschlag im Jahr, von denen 62 % (532 mm/a) verdunstet oder von Pflanzen transpiriert wurden und 327 mm/a abflossen (BMU 2003). Dazu kamen netto 199 mm/a, die durch grenzüberschreitende Fließgewässer Deutschland zuflossen, wie im Falle der Elbe aus Tschechien. Für den deutschen Teil des Elbe-Einzugsgebietes sieht die Bilanz aufgrund der niedrigeren Niederschläge und der höheren potenziellen Evapotranspiration ungünstiger aus. Für das Bundesland Brandenburg wird der Niederschlag mit ca. 610 mm/a angegeben, von denen ca. 510 mm/a über Evapotranspiration in die Atmosphäre zurückgegeben werden (DANNOWSKI & STEIDL 2000, LAHMER & PFÜTZNER 2003). Die klimatische Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag und Grasreferenzverdunstung (ALLEN et al. 1998) ist für fast den gesamten deutschen Teil des Elbe-Einzugsgebietes stark negativ. Die tatsächliche Evapotranspiration wird durch die Wasserverfügbarkeit gegenüber der Grasreferenzverdunstung deutlich reduziert. Dennoch entfällt noch ein Drittel der eingestrahnten Sonnenenergie auf die Evapotranspiration. Im Vergleich dazu wird nur etwa 1 % der eingestrahnten Energie im jährlichen Biomasse-Zuwachs gespeichert.

Schilf- und Röhrichtbestände an den Ufern von Seen und Flüssen zeichnen sich durch unbegrenzte Wasserverfügbarkeit und fast unbegrenzten Austausch mit der Atmosphäre aus. BEHRENDT et al. (2001) bestimmten in langjährigen Messreihen in der Lysimeteranlage Paulinenaue im Havelland Evapotranspirationsmengen von bis zu 1600 mm/a, die somit den lokalen Jahresniederschlag um mehr als 150 % überschritten. Flächendifferenzierte Modellierungen des Landschaftswasserhaushaltes für das Bundesland Brandenburg weisen entsprechend negative Bilanzen für Röhricht-dominierte See- und Flussufer und Feuchtgebiete aus (DANNOSKI & STEIDL 2000, LAHMER & PFÜTZNER 2003). Abschätzungen der realen Evapotranspiration mittels Daten der Fernerkundung während trockener, warmer Sommertage bestätigen dieses Muster (WLOCZYK 2007).

Die Evapotranspiration der Vegetation terrestrischer Standorte wird einerseits durch die Wasserverfügbarkeit bestimmt, die wiederum vom Grundwasserflurabstand, der Mächtigkeit des Kapillarsaums und der Wasserhaltekapazität des Bodens abhängt. Andererseits steigt sie mit der Höhe und Rauigkeit des Bestandes, dem Blattflächenindex (Summe der Flächen aller Blätter geteilt durch die von der Pflanze überdeckte Bodenfläche), der Ausbildung des Wurzelsystems und der Länge der Vegetationsperiode bzw. der Dauer der Belaubung. Entsprechend werden die höchsten Jahressummen der Evapotranspiration in ganzjährig Nadeln tragenden Nadelwäldern beobachtet, gefolgt in absteigender Reihenfolge von sommergrünen Laubwäldern, Grünland, Ackerflächen und Brachflächen (LISCHEID & NATKHIN 2011, DANNOSKI & STEIDL 2000, LAHMER & PFÜTZNER 2003). Der Unterschied zwischen Nadelwald und Acker (ohne Zwischenfruchtanbau) kann 100 mm/a deutlich übersteigen, hängt jedoch sehr stark von Bodeneigenschaften, dem Grundwasserflurabstand, der saisonalen Verteilung der Niederschläge etc. ab. Der Einfluss der Intensität oder der Art der Bodenbearbeitung zeigte dagegen in den Feldversuchen des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) keine signifikanten Auswirkungen auf die Evapotranspiration. Dagegen nimmt die Evapotranspiration unter ansonsten vergleichbaren Bedingungen deutlich mit dem Blattflächenindex, der Biomasse oder dem Ertrag landwirtschaftlicher Nutzpflanzen zu (MÜLLER et al. 2005, HAFERKORN 2000). Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass die Steigerung der Erträge auf das Fünf- bis Siebenfache auf dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland innerhalb der letzten 200 Jahre (SCHUSTER 1997) massive Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt gehabt haben muss, und dass auch künftige weitere Ertragssteigerungen sich entsprechend auswirken werden.

3 Klimawandel und Wasserhaushalt

Die für die nächsten Jahrzehnte prognostizierten Änderungen des globalen Klimas lassen gravierende Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Elbe-Einzugsgebietes erwarten. Mit steigender Lufttemperatur steigt die Kapazität der Luft, Wasserdampf aufzunehmen und über große Entfernungen zu transportieren. Gleichzeitig steigt auch der Energiegehalt. Deshalb wird allgemein eine Intensivierung des Wasserkreislaufes erwartet. Inwieweit daraus für bestimmte Regionen ein Anstieg oder eine Abnahme von Niederschlag oder Evapotranspiration resultiert, hängt aber entscheidend von den Zirkulationsmustern atmosphärischer Luftmassen ab. Anders als bei der Temperatur sind die Unsicherheiten der globalen Klimamodelle sehr hoch. Dazu kommen erhebliche Unsicherheiten der verfügbaren Messdaten, die eine Über-

prüfung der Modelle erheblich erschweren (LORENZ & KUNSTMANN 2012). Noch größer sind die Unsicherheiten in der Abschätzung der Auswirkungen auf einzelne Regionen, wie ein Vergleich der durch verschiedene Regionalmodelle prognostizierten räumlichen Muster für das Land Brandenburg zeigt (REIMER et al. 2005).

Das komplexe nichtlineare Zusammenspiel verschiedener Einflussgrößen auf die Evaporation illustrieren die Ergebnisse langjähriger Messreihen der Evaporation sowie der Einstrahlung, die vielen Teilen der Welt eine Abnahme beider Größen zeigen oder zumindest über mehrere Jahrzehnte hinweg zeigten. Dieses als „Global Dimming“ bezeichnete Phänomen wird auf eine Zunahme der Bewölkung, teilweise auch entsprechende Trends der Luftverschmutzung, zurückgeführt (LIEPERT 2002, STANHILL 2007) und ist regional sehr unterschiedlich ausgeprägt (TEULING et al. 2009).

Generell wird aktuell davon ausgegangen, dass in Ostdeutschland vor allem die Wintertemperaturen stärker ansteigen werden und es zu einer Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in das Winterhalbjahr kommen wird. Gleichzeitig wird von einer Zunahme der Intensität und der Häufigkeit extremer Starkregenereignisse ausgegangen (JACOB et al. 2008, SPEKAT et al. 2007, WECHSUNG 2005, GERSTENGARBE et al. 2003). Da die Landwirtschaft in Ostdeutschland bereits jetzt mit dem Problem konfrontiert ist, dass gerade in der für ackerbauliche Kulturen entscheidenden frühsummerlichen Phase öfters Wasserknappheit auftritt, steigt somit der Druck, die Ertragssicherheit durch optionale Bewässerung sicherzustellen (WECHSUNG et al. 2008, GERSTENGABE et al. 2003). Die momentanen ökonomischen Randbedingungen lassen viele Landwirte jedoch noch vor den dafür erforderlichen Investitionen zurückschrecken. Dies kann sich jedoch schnell ändern, wenn die Randbedingungen, z. B. im Rahmen der momentan verhandelten Neuausrichtung der EU-Agrarpolitik, sich entsprechend ändern.

Der aufgrund der höheren Lufttemperatur und des zunehmenden Sättigungsdefizits erwartete Anstieg der potenziellen Evapotranspiration könnte jedoch, zumindest teilweise, durch den CO₂-Düngungseffekt kompensiert werden. Aufgrund des steigenden CO₂-Partialdrucks können Pflanzen den für die Photosynthese notwendigen Bedarf an CO₂ durch zunehmend kürzere Phasen der Öffnung der Spaltöffnungen decken. Das würde gleichzeitig die Wasserabgabe an die Atmosphäre und somit den Wasserverbrauch der Pflanzen reduzieren. Dieser Effekt ließ sich tatsächlich in einer Vielzahl von Labor- und Felduntersuchungen nachweisen (PIAO et al. 2007, GILL et al. 2002). In der Regel stieg die Effizienz der Wassernutzung, d. h. das Verhältnis von produzierter Biomasse bezogen auf den Wasserverbrauch, deutlich an. Allerdings war der Effekt unterproportional: Eine Verdoppelung des CO₂-Partialdrucks führte nicht zu einer Halbierung der Wasseraufnahme (BUNCE 2004). Stattdessen wurden Anzeichen einer Sättigung beobachtet (COWLING & FIELD 2003). Mit der CO₂-Anreicherung war eine Ertragssteigerung nur in Ausnahmefällen verbunden (NIE et al. 1992, BUNCE 2004).

Rekonstruktionen der Seewasserspiegel in Nordostdeutschland zeigen, dass es seit dem Ende der letzten Eiszeit erhebliche Schwankungen gegeben hat und die aktuellen Wasserstände offensichtlich nicht das Minimum darstellen (KAISER et al. 2012). Allerdings ist dabei zu beachten, dass der Mensch in dieser Region schon seit Jahrhunderten in den Wasserhaushalt eingreift und direkte Rückschlüsse auf klimatische Einflüsse mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Die Modelluntersuchungen von NATKHIN et al. (2012) legen den Schluss nahe, dass die seit den 1980er-Jahren beobachteten Rückgänge von Grund- und Seewasserspiegeln

in der Schorfheide nördlich von Berlin nur zu Hälfte auf vergleichsweise geringe Änderungen der Niederschläge und der Evapotranspiration, zur anderen Hälfte aber auf das zunehmende Alter der Kiefernbestände und die Entwicklung eines grasigen Unterwuchses zurückzuführen ist. Festzuhalten bleibt, dass die zukünftige Entwicklung des Wasserhaushaltes eben nicht nur von der klimatischen Entwicklung, sondern auch von einer Reihe weiterer anthropogener Faktoren abhängen wird.

4 Schlussfolgerungen

Nach dem Niederschlag stellt die Evapotranspiration die bedeutendste Größe im Wasserhaushalt Mitteleuropas dar. Sie wird maßgeblich von der Vegetation und somit von der Landnutzung bestimmt. Dafür ist nicht nur der Vegetationstyp ausschlaggebend, sondern auch die Biomasse, der Ertrag oder der Blattflächenindex, die wiederum entscheidend von der landwirtschaftlichen oder forstlichen Bewirtschaftung abhängen. Auch wenn sich für die Vergangenheit Effekte klimatischer Änderungen auf den Landschaftswasserhaushalt nachweisen ließen, waren die Auswirkungen des Landnutzungswandels bzw. der Zunahme der Intensität der Landnutzung auf den Wasserhaushalt Mitteleuropas in den letzten 100 Jahren deutlich stärker.

Die Abschätzungen der zukünftigen klimatischen Entwicklung und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sind mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Für den größten Teil des Elbe-Einzugsgebietes wird von einer Zunahme der Lufttemperatur, einer Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in das Winterhalbjahr, sowie von einer Zunahme der Intensität und Häufigkeit von extremen Witterungslagen ausgegangen. Diese Effekte spielen vermutlich zukünftig für den Wasserhaushalt eine größere Rolle als Trends der Jahreswerte.

Bereits die Bestimmung und die Modellierung der aktuellen Evapotranspiration unter den aktuellen Randbedingungen stellt ein erhebliches Problem dar. Aufgrund der vielfältigen und oftmals nichtlinearen Rückkopplungen im Grenzbereich von Bodenkunde, Pflanzenphysiologie, Hydrologie, Agrarwissenschaften, Forstwissenschaft, Mikrometeorologie und Fernerkundung sind hier noch erhebliche interdisziplinäre Anstrengungen nötig, um eine solide Abschätzung der zukünftigen Entwicklung sowie das Potenzial von Maßnahmen des Managements auszuloten, die nicht nur für die Wasserwirtschaft, sondern auch für die Land- und Forstwirtschaft von großer Bedeutung sind. Nur eine profunde Kenntnis dieser Zusammenhänge ermöglicht es, die notwendigen Maßnahmen zu treffen, um auch angesichts der zunehmenden Unsicherheiten der klimatischen wie der ökonomischen Randbedingungen eine nachhaltige Bewirtschaftung zu ermöglichen.

Literatur

- ALLEN, R. G., L. S. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH (1998): Crop evapotranspiration: FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome, Italy.
- BEHRENDT, A., G. SCHALITZ, L. MÜLLER, G. MINDEL, D. HÖLZEL (2001): Untersuchungen zur Niedermoorrenaturierung in Grundwasserlysimetern. 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding.

- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. CD-ROM, Bonn.
- BUNCE, J. A. (2004): Carbon dioxide effects on stomatal response to the environment and water use by crops under field conditions. *Oecologia* 140: 1-10, DOI 10.1007/s00442-003-1401-6.
- COWLING, S. A., C. B. FIELD (2003): Environmental control of leaf area production: Implications for vegetation and land-surface modelling. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 7-1 – 7-14, DOI: 10.1029/2002GB001915.
- DANNOWSKI, R., J. STEIDL (2000): Modellierung des Gebietswasserhaushaltes mit dem Modell ABI-MO. In: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg. Studien und Tagungsberichte, Band 27, Landesumweltamt Brandenburg, S. 24-40.
- GERSTENGARBE, F.-W., F. BADECK, F. HATTERMANN, V. KRYSAKOVA, W. LAHMER, P. LASCH, M. STOCK, F. SUCKOW, F. WECHSUNG, P. C. WERNER (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report 83, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- GILL, R. A., H. W. POLLEY, H. B. JOHNSON, L. J. ANDERSON, H. MAHERALI, R. B. JACKSON (2002): Nonlinear grassland responses to past and future atmospheric CO₂. *Nature* 417: 279-282.
- HAFERKORN, U. (2000): Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes. Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades doctora scientiarum agrariorum (Dr. sc. agr.) der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.
- JACOB, D., H. GÖTTEL, S. KOTLARSKI, P. LORENZ, K. SIECK (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 13. Umweltbundesamt, Dessau.
- KAISER, K., K. GÜNTHER, S. LORENZ, B. MERZ, O. BENS, R. F. HÜTTL (2012): Historische Veränderungen des Wasserhaushalts und der Wassernutzung in Nordostdeutschland. In: Kaiser, K., Merz, B., Bens, O., Hüttel, R. F. (Hrsg.): Historische Perspektiven auf Wasserhaushalt und Wassernutzung in Mitteleuropa. Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Band 38, S. 73-102.
- LAHMER, W., B. PFÜTZNER (2002): Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnungen. PIK-Report 85, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- LIEPERT, B. G. (2002): Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. *Geophysical Research Letters* 29(10), 1421, DOI: 10.1029/2002GL014910.
- LISCHEID, G., M. NATKHIN (2011): The potential of land use change to mitigate water scarcity in Northeast Germany – a review. *Die Erde* 142(1-2): 97-113.
- LORENZ, C., H. KUNSTMANN (2012): The Hydrological Cycle in Three State-of-the-Art Reanalyses: Intercomparison and Performance Analysis. *Journal of Hydrometeorology* 13: 1397-1420 DOI: 10.1175/JHM-D-11-088.1.
- MÜLLER, L., A. BEHRENDT, G. SCHALITZ, U. SCHINDLER (2005): Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management* 75(2): 117-136.
- NATKHIN, M., J. STEIDL, O. DIETRICH, R. DANNOWSKI, G. LISCHEID (2012): Differentiating between climate effects and forest growth dynamics effects on decreasing groundwater recharge in a lowland region in Northeast Germany. *Journal of Hydrology* 448-449: 245-254, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.05.005.

- NIE, D., H. HE, G. MO, M. B. KIRKHAM, E. T. KANEMASU (1992): Canopy photosynthesis and evapotranspiration of rangeland plants under doubled carbon dioxide in closed-top chambers. *Agricultural and Forest Meteorology* 61:205-217.
- PIAO, S., P. FRIEDLINGSTEIN, P. CIAIS, N. DE NOBLET-DUCOUDRÉ, D. LABAT, S. ZAEHLE (2007): Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 15242-15247, DOI 10.1073/pnas.0707213104.
- REIMER, E., S. SODOUDI, E. MIKUSKY, I. LANGER (2005): Klimaprognose der Temperatur, der potenziellen Verdunstung und des Niederschlags mit NEURO-FUZZY-Modellen. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Band 6, Weißensee Verlag, Berlin, S. 96-109.
- SCHUSTER, W. H. (1997): Welchen Beitrag leistet die Pflanzenzüchtung zur Leistungssteigerung von Kulturpflanzenarten? *Pflanzenbauwissenschaften* 1: 9.18.
- SPEKAT, A., W. ENKE, F. KREIENKAMP (2007): Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG. UBA-FZK 204 41 138. UBA-Publikationsreihe, Dessau.
- STANHILL, G. (2007): A Perspective on Global Warming, Dimming, and Brightening. *Eos* 88(5): 58-59.
- TEULING, A. J., M. HIRSCHI, A. OHMURA, M. WILD, M. REICHSTEIN, P. CIAIS, N. BUCHMANN, C. AMMANN, L. MONTAGNANI, A. D. RICHARDSON, G. WOHLFAHRT, S. I. SENEVIRATNE (2009): A regional perspective on trends in continental evaporation. *Geophysical Research Letters* 36, L02404, doi:10.1029/2008GL036584.
- WECHSUNG, F. (2005): Herausforderungen des globalen Wandels für die Elbe-Region. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Band 6, Weißensee Verlag, Berlin, S. 3-57.
- WECHSUNG, F., A. LÜTTGER, F. F. HATTERMANN (2008): Projektionen zur klimabedingten Änderung der Erträge von einjährigen Sommer- und Winterkulturen des Ackerlandes am Beispiel von Silomais und Winterweizen. In: Wechsung, F., Gerstengarbe, F.-W., Lasch, P., Lüttger, A. (Hrsg.) (2008): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. PIK-Report 112, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, S. 18-32.
- WLOCZYK, C. (2007): Entwicklung und Validierung einer Methodik zur Ermittlung der realen Evapotranspiration anhand von Fernerkundungsdaten in Mecklenburg-Vorpommern. Dissertation, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock.



Kontakt:

Prof. Dr. Gunnar Lischeid

Leibniz-Zentrum für Agrarland-
schaftsforschung

Institut für Landschaftswasser-
haushalt

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Tel.: +49-33432-82300

Fax: +49-33432-82301

E-Mail: lischeid@zalf.de

1983-1989

Studium der Landwirtschaft und der Geologie an den
Universitäten Bonn und Göttingen

1990-1995

Promotion an der Universität Göttingen

1993-2008

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bay-
reuth

seit 2008

Leitung des Instituts für Landschaftswasserhaushalt des
Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung und
Professor für Landschaftswasserhaushalt an der Uni-
versität Potsdam

Bearbeitung aktueller **Projekte** (Auswahl):

- 2010-2013: Impact of soil and land management on
ground water recharge and solute leach-
ing under current and changing climate
conditions in the Luancheng region in the
Hai River basin (China)
- 2011-2015: ELaN – Entwicklung eines integrierten
Landmanagements durch nachhaltige
Wasser- und Stoffnutzung in Nordost-
deutschland
- 2012-2015: Aqualink – Aquatic boundaries and link-
ages in a changing environment. Teilpro-
jekt: Systemdynamik aquatisch-terrestri-
scher Grenzzonen und ihre Änderungen
- 2012-2015: Landscapes – Connecting processes and
structures driving the landscape carbon
dynamics over scales.
Teilprojekt: Focusing on uncertainties in
scaling fluxes and mechanisms to the
landscape level.
- 2013-2014: Ways – Zukunftsfähige Technologien und
Dienstleistungen für das Wasser und Res-
ourcenmanagement am oberen Yangtze in
Sichuan, VR China. Teilprojekt: Wasser-
management und Beurteilung des Land-
schaftswasserhaushalts

Beeinflussung von Hochwassern der Elbe durch den Betrieb von Talsperren in Tschechien und Thüringen

Marcus Hatz und Norbert Busch

1 Einleitung

Das Auftreten von drei bedeutenden Elbehochwassern (2002, 2006, 2011) innerhalb eines Jahrzehnts hat in Deutschland sowohl der betroffenen Bevölkerung als auch den Fachleuten aus Wasserwirtschaft und Politik die Bedeutung eines funktionierenden Hochwasserrisikomanagements vor Augen geführt. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), welche als Bundesoberbehörde auch für alle Bundeswasserstraßen in Deutschland zuständig ist, beteiligt sich deshalb schon seit 2004 an EU-Projekten, die ihren Fokus auf Hochwasser und Hochwasserschutzfragen an der Elbe legen. Sowohl im ELLA-Projekt (2004-2006) als auch im 2012 abgeschlossenen Projekt „LABEL – Anpassung an das Hochwasserrisiko im Elbe-Einzugsgebiet“ konnte die BfG dabei mit verschiedenen angewandten Themen aus Forschung und Praxis eine Schnittstellenfunktion im Hochwasserrisikomanagement zwischen Bund, Bundesländern und europäischen Partner ausfüllen.

Im Fokus aller BfG-Untersuchungen im LABEL-Projekt standen immer die bedeutenden Elbehochwasser der Jahre 2002, 2006 und 2011. Für diese Ereignisse wurden auf Anfrage der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe) mittels großräumiger mathematischer Abflussmodellierungen, die in Kooperation mit tschechischen Partnern (Masaryk Water Research Institute, AquaLogic Consulting) ausgeführt wurden, die Wirkungen tschechischer und thüringischer Talsperren auf Hochwasser an der Elbe staaten- und länderübergreifend untersucht. Die in dieser Studie vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass während der drei Hochwasser in den berücksichtigten Talsperren ein nicht zu vernachlässigendes Retentionsvolumen (von bis zu 500 Mio. m³) zur Verfügung stand, dessen Nutzung sich nicht nur positiv auf die Scheitelwasserstände der Elbe in Tschechien auswirkte. Auch entlang der gesamten deutschen frei fließenden Elbe, bis nahezu vor die Tore Hamburgs, konnten durch die Modelluntersuchungen Scheitelwasserstandsreduktionen von bis zu 1 Meter nachgewiesen werden, die erheblich zur Verbesserung des Hochwasserschutzes an der oberen und mittleren Elbe beigetragen haben.

2 Hochwasserrisiko im Einzugsgebiet der Elbe

Für viele Regionen und Städte im Einzugsgebiet waren und sind die Elbe und ihre Nebenflüsse wichtige Motoren für die wirtschaftliche Entwicklung. Zahlreiche Talsperren an Moldau, Eger oder Saale (Abb. 1) sichern die Versorgung mit Trinkwasser und Elektrizität; die Wasserstraße Elbe stellt Nutzungspotenziale für die Transportwirtschaft bereit und der Tourismus profitiert von einer reizvollen Mischung aus kulturellen Hotspots mit naturnahen Auenlandschaften. Die extremen Hochwasser der Jahre 2002, 2006 und 2011, welche durch außergewöhnliche meteorologische Bedingungen im Einzugsgebiet hervorgerufen wurden, haben gezeigt, dass die beschriebene positive Entwicklung jederzeit durch Hochwasser gefährdet werden kann; insbesondere deshalb, weil in den letzten 150 Jahren in der Flussaue über 85 % der natürlichen Überschwemmungsgebiete verloren gingen, die Schadenspotenziale sich jedoch gerade dort durch den Ausbau und die Verdichtung der Infrastruktur erhöht haben. Das Hochwasserrisiko ist somit gestiegen (IKSE 2005).



Abb. 1: Das Einzugsgebiet der Elbe (inkl. Talsperren)

3 Anpassung an das Hochwasserrisiko

Im Elbegebiet hat man sich dieser Problematik angenommen. Zusätzlich zur Arbeit der permanenten, deutschen (Flussgebietsgemeinschaft Elbe) und internationalen (Internationale Kommission zum Schutz der Elbe) Gremien und Arbeitsgruppen an der Elbe, formierte sich schon schnell nach dem sogenannten „Jahrhunderthochwasser“ vom August 2002 eine weitere Initiative, die erkannte, dass ein nachhaltiges Hochwasserrisikomanagement nicht allein durch die Wasserwirtschaft, sondern nur im Verbund mit der Raumordnung realisiert werden kann. Gefördert wird diese Initiative durch das EU-Programm INTERREG B, welches die Zusammenarbeit zwischen Städten, Regionen und Mitgliedsstaaten der Europäischen Union unterstützt, um dafür zu sorgen, dass nationale Grenzen kein Hindernis für eine ausgewogene Entwicklung des europäischen Raums darstellen.

Mit dieser Unterstützung konnten Staaten übergreifend, unter Beteiligung von nationalen, lokalen und regionalen Behörden aus Deutschland, Tschechien und anderen Partnerländern, die beiden EU-Projekte „ELLA – Vorsorgende Hochwasserschutzmaßnahmen durch transnationale Raumordnung“ (2004-2006) und „LABEL“ (2009-2012) erfolgreich durchgeführt werden.

In beiden Projekten war die BfG aktiver Projektpartner und konnte als angewandt forschende Bundesoberbehörde eine Schnittstellenfunktion zu den beteiligten Landesbehörden und europäischen Projektpartnern ausfüllen. In Zusammenarbeit mit diesen Partnern wurde von der BfG einer der Schwerpunkte in LABEL auf großräumige, modellgestützte Untersuchungen zum Hochwasserablauf an der Elbe und bedeutender Nebenflüsse gelegt. Aufbauend auf den von der BfG im ELLA-Projekt durchgeführten Analysen zur Wirkung von geplanten Poldern und Deichrückverlegungen in Sachsen und Sachsen-Anhalt (BfG 2006), war es u. a. das Ziel, das bereits vorhandene Wissen (KAŠPÁREK et al. 2006) zu den Wirkungen von Talsperren in Tschechien und Thüringen auf den Hochwasserablauf an der Elbe genauer zu spezifizieren und zu klären, wie weit die positiven Einflüsse auf der deutschen Elbestrecke wirken.

4 Wirkung von Talsperren bei den Hochwassern 2002, 2006 und 2011

Aufgrund ihres Wasserrückhaltevermögens spielen die Talsperren im Einzugsgebiet der Saale in Thüringen und in den Einzugsgebieten von Moldau und Eger in Tschechien eine wichtige Rolle für den Hochwasserablauf der Elbehochwasser 2002, 2006 und 2011 (IKSE 2009). So wurde in IKSE (2009) nachgewiesen, dass durch die Vorentleerung der Talsperren an der Moldau im Winter 2005/2006 „ein bedeutender Teil der Hochwasserwelle des Hochwassers vom Frühjahr 2006 zurückgehalten werden konnte.“ Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Wirkungen tschechischer Talsperren, deren Einsatz auf den dortigen Hochwasserverlauf angepasst ist, sich in Deutschland nur bis „in den Raum Dresden“ (IKSE 2009) positiv bemerkbar machen. Um dieses vorhandene Wissen zu präzisieren, untersuchte die BfG in Kooperation mit ihren tschechischen Partnern erstmals innerhalb eines transnationalen Projektes diese positiven Effekte nun auch für die Elbe in Deutschland. Anwendung fand hierfür ein deutsch-tschechisches Modellsystem, in dem das 1D-Fließgewässermodell der BfG für die frei fließende deutsche Elbe bis Geesthacht (Software: SOBEK) mit einem 1D-Fließgewässermodell der tschechischen Elbe (Software: HecRas) und der Moldau (Software: HecRas bzw. AquaLog) gekoppelt wurde.

Die Simulationsergebnisse (BfG 2012) zeigen, dass für die historischen Hochwasser 2002, 2006 und 2011 erhebliche Scheitelreduktionen durch den Einsatz der tschechischen und thüringischen Talsperren erreicht wurden. Diese brachten nicht nur positive Effekte für den Hochwasserablauf in Tschechien (Nahwirkung) mit sich, sondern wirkten sich transnational und großräumig bis hin zur unteren Mittelelbe in Deutschland aus (Fernwirkung). Am Pegel Dresden, an dem die Wirkungen aller tschechischer Rückhalteräume nachvollzogen werden können, hätte der Scheitelwasserstand im August 2002 (gemessen: 940 cm am Pegel) die Marke von 10 m überschritten. Im Folgenden ist für Dresden und für den Pegel Wittenberge an der unteren Mittelelbe (wo sich die Wirkungen tschechischer und thüringischer Maßnahmen überlagern), die Bandbreite der für die drei Hochwasser erreichten Scheitelreduktionen dargestellt:

- > am Pegel **Dresden**: -68 cm bis -76 cm (-569 m³/s bis -888 m³/s),
- > am Pegel **Wittenberge**: -40 cm bis -71 cm (-452 m³/s bis -840 m³/s)

Ergänzend zu diesen Zahlen gibt Abb. 2 die abschnittsgemittelten Scheitelwasserstandsreduktionen für alle drei Hochwasser entlang der gesamten deutschen Elbe wieder.

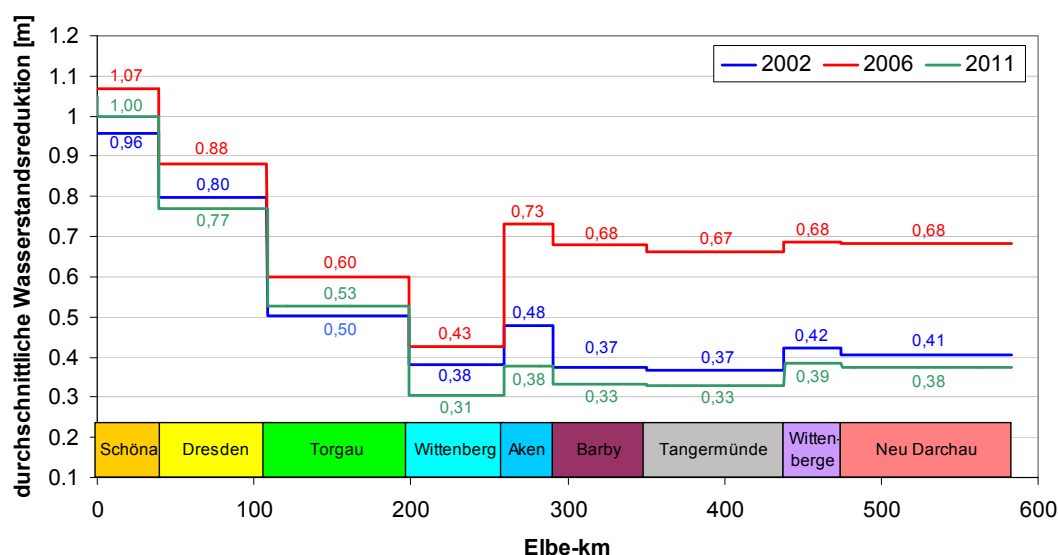


Abb. 2: Durchschnittliche erreichte Scheitelwasserstandsabsenkungen an der Elbe während der Hochwasser der Jahre 2002, 2006 und 2011

Die beschriebenen Scheitelreduktionen konnten nur erreicht werden, weil im Hochwasserablauf zwischen 169 Mio. m³ (2002) und 518 Mio. m³ (2006) Wasser aus der Welle in den berücksichtigten Talsperren in Tschechien und Thüringen zurückgehalten werden konnte. Hierfür stand nicht nur der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum zur Verfügung, sondern auch freies Volumen im Betriebsraum der Talsperren, welches durch Vorentleerung im Zeitraum vor den Hochwasserereignissen generiert wurde. Mögliche Potenziale und Grenzen solcher Vorentleerungsprozesse wurden durch die Modelluntersuchungen nochmals verdeutlicht:

- > Eine Entleerung von Talsperren über den gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum hinaus kann bei Winter-/Frühjahrschhochwassern (z. B. Hochwasser 2006) in großem Maße erfolgen. Grund hierfür ist, dass der Prozess der Vorentleerung hauptsächlich vom in der Schneedecke gespeicherten Wasseräquivalent abhängt. Für Winterhochwasser kann somit ein größeres, freies Volumen zur Verfügung gestellt werden als für Sommerereignisse.

- > Die mögliche Reduktion des Hochwasserscheitels ist für kurze Wellen mit einem steilen Anstieg der Wellenverläufe (wie beim Hochwasser 2002) am größten. Solche Wellen benötigen – bei gleichem Scheitel – weit weniger Speichervolumen als Wellen ähnlich dem Hochwasser 2006 mit einem breiten, lang andauernden Scheitel.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mehrere Millionen Menschen in Deutschland leben hinter Deichen und sind somit bis zu einem gewissen Grad vor Hochwassern geschützt. Die im Rahmen des EU-Projekts LABEL durchgeführte tschechisch-deutsche Untersuchung zeigt, dass heutzutage eine zweite Schutzmaßnahme existiert – tschechische und (weiter unterstrom) thüringische Talsperren –, die ebenfalls in beträchtlichem Maße zum Hochwasserschutz an der Elbe in Deutschland beiträgt. Aufgrund der dadurch existierenden Rückhaltevolumina und der Tatsache, dass die deutschen Nebenflüsse für die Hochwasserentstehung an der Elbe zumeist nur eine untergeordnete Rolle spielen, befindet sich das Elbegebiet in einer außergewöhnlichen Situation. An keinem anderen deutschen Strom (Rhein, Donau, Weser oder Oder) profitieren die Unterlieger so stark von den Maßnahmen der Oberlieger. Angesichts dieser bedeutenden transnationalen Wirkungen empfehlen und planen sowohl die deutschen als auch die tschechischen Projektpartner, u. a. die folgenden weiteren Schritte für einen verbesserten, vorsorgenden Hochwasserschutz an der Elbe einzuleiten:

- > Intensivierung der deutsch-tschechischen Zusammenarbeit auf den Ebenen der Politik, der Experten und der Sachbearbeiter sowohl im Rahmen der permanenten Institutionen im Elbegebiet (z. B. IKSE) als auch in transnationalen Projekten.
- > Bedingt durch die sukzessiv zwischen 1932 und 1968 errichteten größten Talsperren verfügen die langen HQ-Reihen für deutsche Elbepegel über nicht beeinflusste und beeinflusste Ereignisse. Bisherige extremwertstatistische Berechnungen lieferten für diese Pegel keine hydrologisch belastbaren Aussagen. Die Flussgebietsgemeinschaft Elbe und die BfG werden im Rahmen einer Kooperation unter Anwendung mathematischer Modelle für das internationale Elbegebiet die Voraussetzungen schaffen, die langen HQ-Reihen zu homogenisieren, um nachfolgend die Hochwasserstatistik zu aktualisieren. Hierbei sind auch die Wirkungen des Retentionsraumverlustes an Zuflüssen der mittleren Elbe auf den Hochwasserablauf einzubeziehen.

Literatur

- BfG (2006): Modellgestützter Nachweis der Auswirkungen von geplanten Rückhaltemaßnahmen in Sachsen und Sachsen-Anhalt auf Hochwasser der Elbe, BfG-1542, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BfG (2012): Bewertung von Einflüssen tschechischer und thüringer Talsperren auf Hochwasser an Moldau und Elbe in Tschechien und Deutschland mittels Einsatz mathematischer Abflussmodelle, BfG-1725, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz;
DOI: 10.567/BfG-1725-DT bzw. 10.567/BfG-1725-TSCH
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- IKSE (2009): Zweiter Bericht über die Erfüllung des Aktionsplans Hochwasserschutz Elbe im Zeitraum 2006 bis 2008, Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- KAŠPÁREK, L., O. NOVICKÝ, M. JENÍČEK, Š. BUCHTELA (2006): Influence of large reservoirs in the Elbe River basin on reduction of flood flows. T.G. Masaryk Water Research Institute, Prag.



Kontakt:

Marcus Hatz

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306-5574
Fax: 0261/ 1306-5280
E-Mail: hatz@bafg.de

Jahrgang: 1983

2003-2009

Studium der Geoökologie an der Universität
Karlsruhe (KIT)

seit 2009

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt
für Gewässerkunde, Koblenz

Projektbearbeitung:

- 2009-2012: EU-Interreg-Projekt „LABEL – Anpassung an das Hochwasserrisiko im Elbe-Einzugsgebiet“
- seit 2009: Weiterentwicklung der Flusshydrologischen Software FLYS der BfG
- seit 2011: KLIWAS-Projekt 4.05 „Prozessstudien zur Entwicklung der Eisbildung auf Wasserstraßen“



Kontakt:

Norbert Busch

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306-5227
Fax: 0261/ 1306-5280
E-Mail: busch@bafg.de

Jahrgang: 1954

1974-1980

Studium der Meteorologie an der Rheinischen-
Wilhelms-Universität Bonn

seit 1981

Wissenschaftlicher Angestellter der Bundesanstalt
für Gewässerkunde, Koblenz

- seit 1990: Leiter des Aufgabengebiets „Fließgewässermodellierung“
- seit 1997: zahlreiche SOBEK-Modellierungen an den Bundeswasserstraßen

Projekte (Auswahl):

- seit 2002: Projektleiter zur Entwicklung der Flusshydrologischen Software FLYS
- 2004-2005: Nachweis 2010 zur Wirksamkeit wasserstandsreduzierender Maßnahmen gemäß Aktionsplan Hochwasser der IKSR
- 2009-2012: EU-Interreg-Projekt „LABEL – Anpassung an das Hochwasserrisiko im Elbe-Einzugsgebiet“

Erwartungen an Zukunftsprojektionen aus Sicht der FGG Elbe, regionale Anpassungsstrategien in Sachsen-Anhalt

Mathias Weiland und Sven Schulz

Einleitung

Der folgende Artikel entstand im Zusammenhang mit dem Kolloquium der BfG „Die Zukunft der Wasserwirtschaft im Elbeeinzugsgebiet“ am 29. und 30.11.2012 und basiert auf dem dazu während der Veranstaltung gehaltenen Vortrag. Aufgrund der Komplexität des Themas kann der Artikel nur einen Überblick über den Stand der Arbeit in der FGG Elbe und den einzelnen Bundesländern geben.

1 Betrachtungsrahmen

Mit der Verabschiedung der Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik am 23. Oktober 2000 (WRRL) wurden umfangreiche Neuregelungen für den Gewässerschutz und die Wasserwirtschaft in Europa in Kraft gesetzt. Der neue Ansatz der WRRL war dabei, die Gewässerschutzanstrengungen innerhalb von Flussgebieten zu koordinieren sowie konkrete Ziele für den Zustand der Gewässer, das heißt für Flüsse, Seen, Küstengewässer, Übergangsgewässer und das Grundwasser, in der Europäischen Gemeinschaft zu formulieren. Zusätzlich wurde die Umsetzung der WRRL mit Umsetzungsfristen versehen, die bis möglichst 2015 zu realisieren sind.

Für die föderalstaatlich organisierte Bundesrepublik Deutschland stellt der umfassende Ansatz der WRRL, insbesondere die flussgebietsbezogene Bewirtschaftung, eine besondere Herausforderung dar. Die zehn im Einzugsgebiet der Elbe befindlichen Bundesländer Bayern, Berlin, Brandenburg, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Thüringen sowie der Bund haben sich deshalb 2004 darauf verständigt, für den deutschen Teil der internationalen Flussgebietseinheit Elbe, eine Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe) zu gründen.

Damit wurde der Grundstein gelegt, dass eine methodisch und inhaltlich abgestimmte Bewirtschaftungs- und Maßnahmenplanung für den deutschen Teil des Einzugsgebietes gewährleistet wird. Die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) stellt dabei das organisatorische Bindeglied zu den Staaten Tschechien, Polen und Österreich, die ebenfalls Anteile am Einzugsgebiet der Elbe besitzen, dar.

2 Das Einzugsgebiet der Elbe

Die Elbe entspringt in einer Höhe von 1.386 m über NN im Riesengebirge und mündet nach 1.094 km bei Cuxhaven in die Nordsee. Die Größe des Einzugsgebietes beträgt 148.268 km². Auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland fallen 65,4 %, auf die Tschechische Republik 31,8 % und zu Polen und Österreich gehören 0,2 % bzw. 0,6 %. Die Elbe stellt nach der Fläche des Einzugsgebietes somit das viertgrößte Flussgebiet Mittel- und Westeuropas dar. Das Gebiet gehört zu den gemäßigten Klimazonen und befindet sich im Bereich des Übergangs vom feucht ozeanischen Klima Westeuropas zum trockenen Kontinentalklima Osteuropas.

51 % der Gesamtfläche liegen unter 200 m über NN, demgegenüber sind nur 29 % des Einzugsgebietes Höhenlagen über 400 m über NN, das heißt Mittelgebirgsgegenden zuzuordnen. Der mittleren Niederschlagshöhe von 628 mm steht eine Verdunstung von 445 mm gegenüber. Das Abflussverhalten wird wesentlich durch Schneespeicherung und Schneeschmelze beeinflusst und daher vorwiegend durch Winter- und Frühjahrshochwässer geprägt.

3 Standortbestimmung

Neben der nachhaltigen Nutzung der Gewässer sowie der Wiederherstellung eines guten ökologischen Zustandes ist die Bereitstellung von Wasser in ausreichender Menge und Qualität zur Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser ein wesentliches Ziel der WRRL. Die Wasserversorgung wird als Bestandteil der Daseinsvorsorge verstanden und hat damit auch bei der Umsetzung der WRRL im Elbeeinzugsgebiet eine herausragende Bedeutung.

Mit der Bestandsaufnahme nach Art. 5 WRRL im Jahr 2005 wurden in der FGG Elbe auch hinsichtlich dieser Forderung wichtige Vorarbeiten geleistet und als Bestandteil des Berichtes der FGG Elbe die wichtigen Wassernutzer benannt und bestehende Überleitungen von Wasser hinsichtlich der transferierten Wassermengen bilanziert. Obwohl bereits in der Bestandsaufnahme 2005 festgestellt wird, dass innerhalb der FGG Elbe kein akuter Wassermangel¹ besteht, wurde der Themenkomplex „Wasserentnahmen und Überleitungen von Wasser“ als sogenannte wichtige überregionale Wasserbewirtschaftungsfrage für den deutschen Teil des Einzugsgebietes der Elbe identifiziert. Hintergrund hierfür waren u. a. die geringen Niederschlagshöhen in Teilen des Einzugsgebietes, wie z. B. im mitteldeutschen Trockengebiet, bzw. der Wasserbedarf einzelner Nutzer, wie z. B. Industrie und Landwirtschaft.

Die Frage des Wasserdargebotes im Verhältnis zu den Wasserentnahmen und den damit verbundenen Nutzungen steht neben anderen in der FGG Elbe identifizierten überregionalen Fragestellungen wie den

- > hydromorphologischen Veränderungen der Oberflächengewässer,
- > der signifikanten stofflichen Belastung mit Nährstoffen und Schadstoffen sowie
- > Bergbaufolgen und deren Auswirkungen.

¹ Nach KUNDZEWICZ et al. (2007) leidet ein Land unter Wassermangel, wenn pro Einwohner weniger als 1.000 m³ erneuerbares Wasser im Jahr zur Verfügung stehen.

Bei der Analyse der im Bewirtschaftungsplan 2009 (FGG Elbe 2009) aufgeführten Maßnahmen zur Verbesserung des Zustandes ist jedoch festzustellen, dass konkrete Maßnahmen im Bereich „Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern“ lediglich in 9 von 61 Planungseinheiten im deutschen Einzugsgebiet der Elbe überhaupt durchgeführt werden. Sie nehmen damit im Vergleich zu den o. g. anderen wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen nur einen sehr geringen Anteil ein.

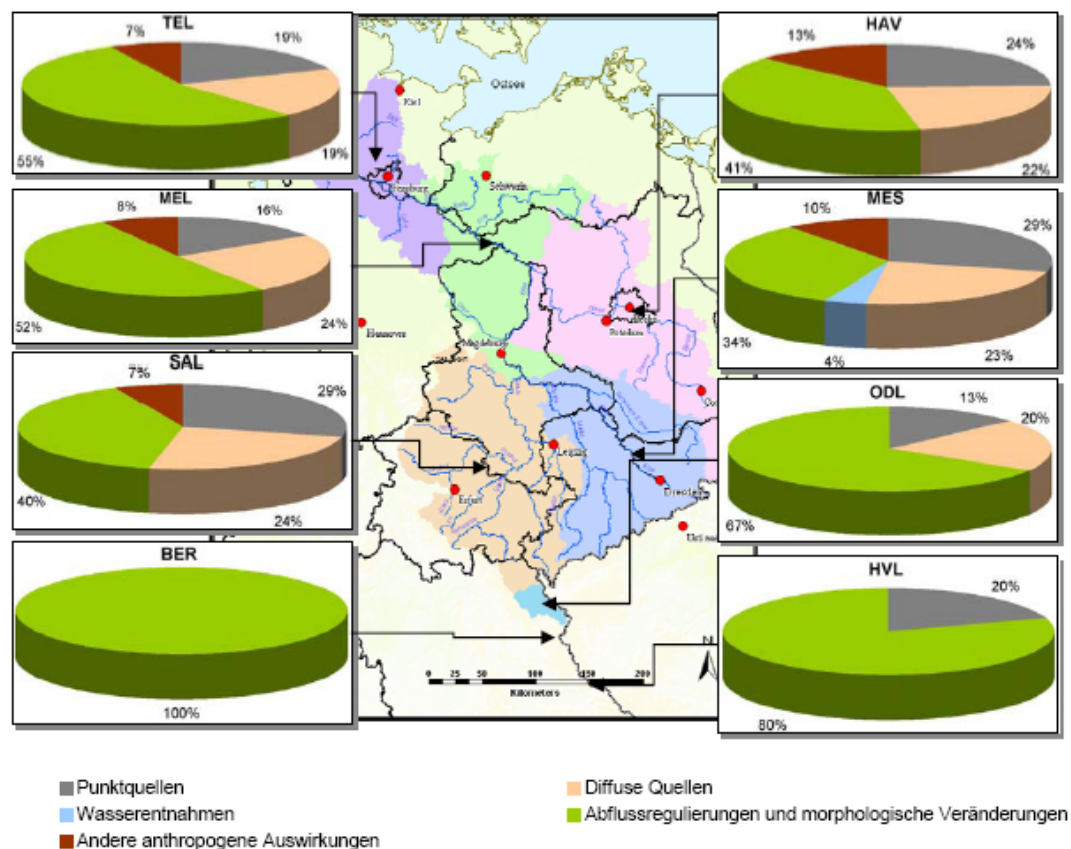


Abb. 1: Anteil der festgelegten Maßnahmenarten in den Koordinierungsräumen der FGG Elbe zur Reduzierung signifikanter Belastungen in Oberflächengewässern (Quelle: GS FGG Elbe)

Dieses Ergebnis überrascht nicht, da die Gründe der Verfehlung der Umweltziele der WRRL schwerpunktmäßig nicht mit Defiziten der Wasserverfügbarkeit oder der Wassermenge in den Gewässern zu begründen sind, sondern vor allem in der intensiven Nutzung der Kulturlandschaft und der starken Überprägung der Gewässer durch den Menschen zu suchen sind.

Für den Bereich des Grundwassers trifft dieses ebenfalls zu, da bereits 96 % der Grundwasserkörper im deutschen Einzugsgebiet der Elbe die Anforderungen der WRRL nach einem guten chemischen und mengenmäßigen Zustand erfüllen. Im verbleibenden Teil der Grundwasserkörper sind Übernutzungen durch Wasserentnahmen in einem nur sehr geringem Umfang Grund für die Nichterreichung der Umweltziele. Die Schwerpunkte im Grundwasser bilden im Wesentlichen stoffliche Belastungen mit Nähr- und Schadstoffen aus punktuellen und diffusen Quellen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Wassermangel oder Wasserknappheit im Hinblick auf das Erreichen der Ziele nach WRRL keine bedeutende Rolle in der FGG Elbe spielt. Ein Grund hierfür ist, dass durch eine zentrale Wasserversorgung und die nachhaltige Nutzung entsprechender Grundwasservorkommen die Versorgung sichergestellt wird. In der Bundesrepublik Deutschland stammen rund 70 % des Trinkwassers aus Grund- und Quellwasser (vgl. UBA 2010). Insbesondere in den neuen Bundesländern werden ca. 63 % des Trinkwassers aus Grundwasservorkommen bereitgestellt und im Mittel 12 % aus Talsperren gewonnen. Aufgrund der geografischen Situation ist dieser Anteil in den Ländern Thüringen und Sachsen mit bis zu 32 % erheblich höher (vgl. BÖHLER et al. 1992). Außerdem ist festzustellen, dass der reale Trinkwasserverbrauch seit 1990 stark gesunken ist. Verbrauchte z. B. ein Einwohner in Sachsen-Anhalt 1990 noch 330 l/d, so lag der Verbrauch 2009 bei 132 l/d (LAU ST & LAV ST 2011)

4 Anpassungsstrategien an den Klimawandel

In der Bestandsaufnahme im Jahr 2005 und der Ableitung der wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen in der FGG Elbe im Jahr 2008 hatte die Frage nach der Notwendigkeit, zukünftig auch veränderte klimatische Verhältnisse mit in die Betrachtung einzubeziehen, eine untergeordnete Bedeutung. Relativ zeitgleich wurde durch umfangreiche Forschungsvorhaben im Einzugsgebiet der Elbe, wie z. B. GLOWA Elbe, jedoch deutlich, dass sich aufgrund veränderter klimatischer Verhältnisse im Einzugsgebiet der Elbe auch Anpassungen an die Maßnahmenplanung zum Erreichen der Ziele der WRRL ergeben können.

Der Klimawandel und die Entwicklung von Anpassungsstrategien fand mehr und mehr Beachtung. In einem ersten Schritt wurde im Bewirtschaftungsplan der FGG Elbe im Jahr 2009 eine erste Abschätzung des Einflusses des Klimawandels auf die Umsetzung der Maßnahmen in einem „Klimacheck“ vorgenommen. Ziel war es, die Vulnerabilität sowie die Robustheit der Maßnahmen gegenüber dem Klimawandel abzuschätzen und im Sinne einer nachhaltigen Maßnahmenplanung mit zu berücksichtigen.

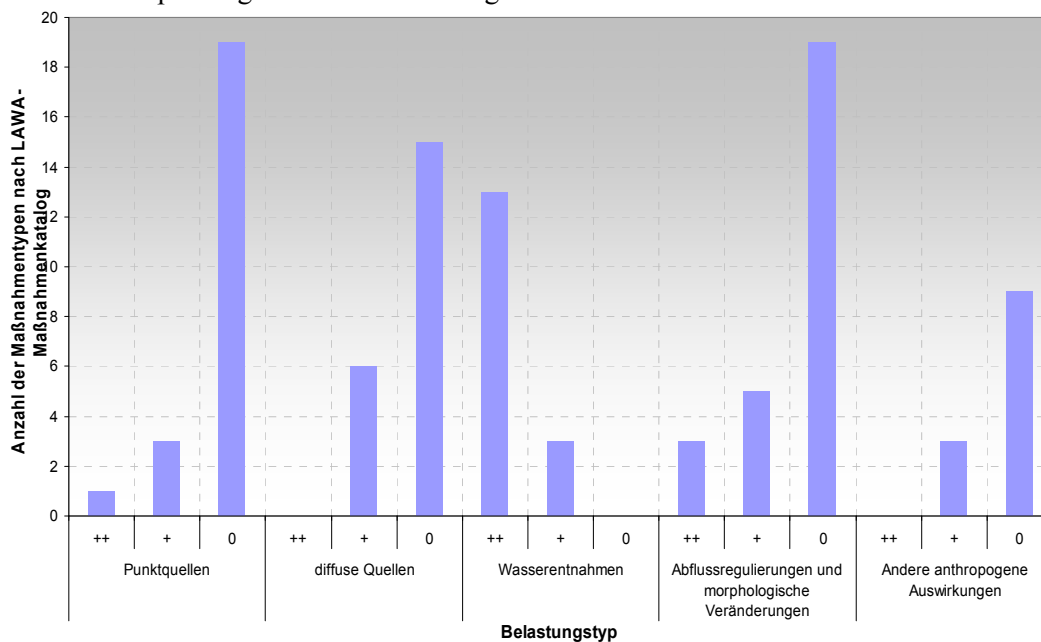


Abb. 2: Belastungstyp und Anzahl der Maßnahmentypen nach LAWA-Maßnahmenkatalog im Vergleich
 ++ direkte Einwirkung, + Mischwirkung, 0 indirekte Wirkung (kein relevanter Betrag)

Dabei zeigte sich, dass insbesondere Maßnahmen zur Reduzierung der stofflichen Belastungen aus punktuellen und diffusen Quellen sowie der Verbesserung der Durchgängigkeit der Gewässer und die morphologischen Veränderungen nicht oder nur sehr gering durch klimatische Veränderungen beeinflusst werden (Abb. 2), Maßnahmen mit Bezug auf den Wasserhaushalt/Wasserentnahmen jedoch eine starke Anfälligkeit aufweisen (vgl. FGG 2009).

In der FGG Elbe wurde sich daher darauf verständigt, dass es notwendig ist, die Grundlagen über die Auswirkungen der Klimaänderungen auf den gesamten Wasserhaushalt weiter zu entwickeln sowie einer Reduzierung des natürlichen Abflusses durch Entnahmen oder Überleitungen von Wasser zu begegnen. Um zukünftig veränderten Bedingungen nachhaltig zu begegnen, wird darüber hinaus ein übergreifendes Wassermengenmanagement für den Elbestrom und die Nebengewässer für notwendig erachtet (vgl. FGG 2009).

5 Die nächsten Schritte

Durch den zyklischen Umsetzungsprozess der WRRL ist es 2013 erforderlich, die wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen aus 2008 zu überprüfen und den aktuellen Rahmenbedingungen anzupassen. In der FGG Elbe ist dieser Prozess bereits erfolgt und für den nächsten Bewirtschaftungszyklus 2016 bis 2021 wurden die Themenkomplexe

- > Verbesserung der Gewässerstruktur und Durchgängigkeit,
- > Reduktion der signifikanten stofflichen Belastung aus Nähr- und Schadstoffen,
- > Verminderung regionaler Bergbaufolgen,
- > Ausrichtung auf ein nachhaltiges Wassermengenmanagement,
- > Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels

als wichtige Wasserbewirtschaftungsfragen der FGG Elbe identifiziert und abgestimmt.

Damit werden auch die Erkenntnisse aus den zwischenzeitlich zahlreichen Forschungsvorhaben zum Klimawandel im Einzugsgebiet der Elbe sowie die Bewertung des Bewirtschaftungsplanes 2010 aufgegriffen und konsequent weiterentwickelt. Durch die Verknüpfung des Klimawandels mit den wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen wird erreicht, dass eine nachhaltige Maßnahmenplanung für den zweiten Bewirtschaftungszyklus gewährleistet ist.

6 Schlussfolgerungen

Der Klimawandel und die Entwicklung von Anpassungsstrategien im Zusammenhang mit der Umsetzung der WRRL sind in der überregionalen Arbeit der FGG fest verankert. Mit der Formulierung der wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen für den zweiten Bewirtschaftungszyklus 2016 bis 2021 sind die damit verbundenen Fragestellungen im Fokus der Betrachtung. Gegenwärtiges Ziel ist es, die Forschungsergebnisse vielfältiger Vorhaben im Einzugsgebiet der Elbe (GLOWA, KLIWAS u. a.) und deren Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit/Wasserhaushalt aufzuarbeiten und für den weiteren Prozess Schlussfolgerungen zu ziehen.

Die Länder der FGG Elbe arbeiten derzeit intensiv an einer Regionalisierung der sich abzeichnenden klimatischen Änderungen. Aufgabe der FGG Elbe kann es sein, Schwerpunktgebiete zu identifizieren, in denen es durch konkurrierende Nutzungen zu Schwierigkeiten bei der Wasserverfügbarkeit kommen kann, um überregionale Handlungsstrategien unter Berücksichtigung der Nutzungs- und Klimaänderungen abzuleiten.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Entwicklung von Anpassungsstrategien ist die Einbeziehung der vorhandenen Speicher (Moldaukaskade, Überleitungen, Talsperren) für den Wasserabfluss, insbesondere im Hinblick auf ein überregionales Niedrigwassermengenmanagement. Ein weiterer Aspekt, aus mittel- und langfristiger Sicht, wird die Einbeziehung des demografischen Wandels in die Betrachtung sein.

Im Hinblick auf die wissenschaftlichen Aktivitäten wird weiterer Forschungsbedarf darin gesehen, die Projektionen hin zu Prognosen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten zu präzisieren. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die anderen Maßnahmenswerpunkte für Nährstoffe, Schadstoffe und Hydromorphologie, insbesondere im Zusammenhang mit dem veränderten Abflussverhalten, und sich einstellenden, ggf. höheren Temperaturen sollte näher untersucht werden. Somit lässt sich die Robustheit bzw. Sensitivität der Maßnahmen besser einschätzen.

Literatur

- BÖHLER, E., B. WRICKE, G. BALDAUF (1992): Beitrag zur Trinkwassersituation in den neuen Bundesländern. In: Vom Wasser. Band 79. S. 281-300. Weinheim.
- FGG Elbe (Hrsg.) (2009): Bewirtschaftungsplan nach Art. 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Magdeburg.
- KUNDZEWICZ, Z. W. et al. (2007): Freshwater Resources and their Management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 173-210.
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU ST) & Landesamt für Verbraucher-schutz Sachsen-Anhalt (LAV ST) (2011): Bericht zur öffentlichen Wasserversorgung in Sachsen-Anhalt für das Jahr 2009. Halle, Magdeburg.
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010): Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 1 Grundlagen. Dessau-Roßlau.

Kontakt

Mathias Weiland

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und
Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 5
39104 Magdeburg
Tel.: 0391/ 581 1361
Fax: 0391/581 1500
E-Mail: mathias.weiland@lhw.mlu.sachsen-anhalt.de

Sven Schulz

Flussgebietsgemeinschaft Elbe
Otto-von-Guericke-Straße 5
39104 Magdeburg
Tel.: 0391/ 581 1461
Fax: 0391/581 1400
E-Mail: sven.schulz@fgg-elbe.de

Notwendigkeit der Bewertung von Folgen des Klimawandels für die Wasserbewirtschaftung

Jiří Skořepa

1 Einleitung

Die Gewährleistung der Mindestabflüsse im Gebiet des Teileinzugsgebietes der Oberen und der Mittleren Elbe, des Teileinzugsgebietes der Lausitzer Neiße und der anderen Nebenflüsse der Oder bei gleichzeitiger Erfüllung der Anforderungen an die Wasserentnahme ist gegenwärtig nicht mehr 100%ig möglich, und im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels ist davon auszugehen, dass die Situation in der Zukunft noch komplizierter wird.

2 Wasserwirtschaftliche Bilanz

Das am 1. Januar 2002 in Kraft getretene Wassergesetz hat den Begriff "Wasserbilanz" neu eingeführt. Im Rahmen seiner territorialen Zuständigkeit, zu der außer dem Teileinzugsgebiet der Oberen und der Mittleren Elbe auch das Teileinzugsgebiet der Lausitzer Neiße und der anderen Nebenflüsse der Oder sowie der eigentliche Wasserlauf Elbe im Abschnitt Mělník - Staatsgrenze gehören, erarbeitet der Staatsbetrieb Povodí Labe für dieses Verwaltungsgebiet jedes Jahr eine wasserwirtschaftliche Bilanz. Die Wasserbilanz besteht aus der hydrologischen und der wasserwirtschaftlichen Bilanz. Bei der hydrologischen Bilanz werden die Wasserzuflüsse und Wasserabgaben sowie die Änderungen der Wasservorräte des Einzugsgebietes, der Fläche oder des Wasserkörpers für den jeweiligen Zeitabschnitt verglichen. Bei der wasserwirtschaftlichen Bilanz werden die Anforderungen an die Entnahme von Oberflächen- und Grundwasser und das Einleiten von Abwasser mit dem verfügbaren Wasserdargebot hinsichtlich der Wassermenge, der Wassergüte und des ökologischen Zustandes verglichen.

2.1 Bilanzbewertung

Bestandteil der wasserwirtschaftlichen Bilanz ist auch die Bilanzbewertung, deren Grundlage die Daten der realisierten Entnahmen und Einleitungen, die Steuerungen der Talsperren, die Werte der Mindestabflüsse und die Menge des Oberflächenwassers in den Bilanzprofilen des staatlichen Netzes sind. Die Daten über die durchschnittlichen monatlichen Abflüsse in den Bilanzprofilen des staatlichen Netzes wurden vom Tschechischen Hydrometeorologischen Institut im Rahmen der Erarbeitung der Wasserbilanz erarbeitet. Die Bilanzbewertung für einen Wasserlauf erfolgt mittels der Summenlinie der Beeinflussung des Wasserlaufs im Längsprofil. In der Summenlinie der Beeinflussung werden den Entnahmen des Oberflächen- und Grundwassers die negativen Werte der Wassermengen und dem eingeleiteten Wasser die positiven Werte zugeschrieben. Die Linie der Beeinflussung bestimmt die kumulative Änderung des Abflusses an der Stelle der Wassernutzung. In die Berechnung geht die Wassernut-

3 Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf das wasserwirtschaftliche System im Einzugsgebiet der Elbe

Seite 103

dem Modell des wasserwirtschaftlichen Systems modelliert, und zwar für 12 Profile von Wassermessstationen, 13 Talsperrenprofile und 4 Profile von Entnahmen aus Trinkwassertalsperren unter Nutzung des Klimawandelszenarios RCAO SRES A2. Ausgewertet wurden die Bereitstellungssicherheit wichtiger Wasserentnahmen und die Einhaltung der Mindestabflüsse in den Kontrollprofilen und unterhalb der Talsperren. Der Einfluss kleinerer Entnahmen (einschließlich der Entnahmen von Grundwasser) und die Wassereinleitungen wurden in der Summe den einzelnen Profilen des Systems summarisch zugeschlagen. Die wasserwirtschaftliche Bilanz wurde für die durch den Klimawandel beeinflussten hydrologischen Bedingungen und für die derzeitigen Bedingungen der Wassernutzung ausgewertet. Bei der Bestimmung der Bilanzzustände wurde von den in der tschechischen Norm ČSN 75 2405 „Wasserwirtschaftliche Lösungen von Talsperren“ genannten Kriterien ausgegangen. Bei voller (d. h. störungsfreier) Gewährleistung der Forderungen bezüglich der Wasserentnahme und der Mindestabflüsse wurde der Bilanzzustand als aktiv bestimmt, bei der Bereitstellungssicherheit gemäß den von der tschechischen Norm ČSN 75 2405 empfohlenen Werten wurde der Bilanzzustand als ausgeglichen und bei der Bereitstellungssicherheit, die unter den von der tschechischen Norm ČSN 75 2405 empfohlenen Werten liegt, wurde er als passiv bestimmt (Abb. 2). In der Norm werden die empfohlenen Werte der Bereitstellungssicherheit entsprechend der Dauer in Abhängigkeit von der Bedeutung der zu sichernden Wassernutzung und entsprechend der Signifikanzklasse der einzelnen Arten der Wassernutzung angegeben. Der Bilanzzustand wird in den Kontrollprofilen durch Vergleich der Sicherstellung der Forderungen mit den oben genannten Kriterien für das Erreichen des entsprechenden Bilanzzustandes bewertet.

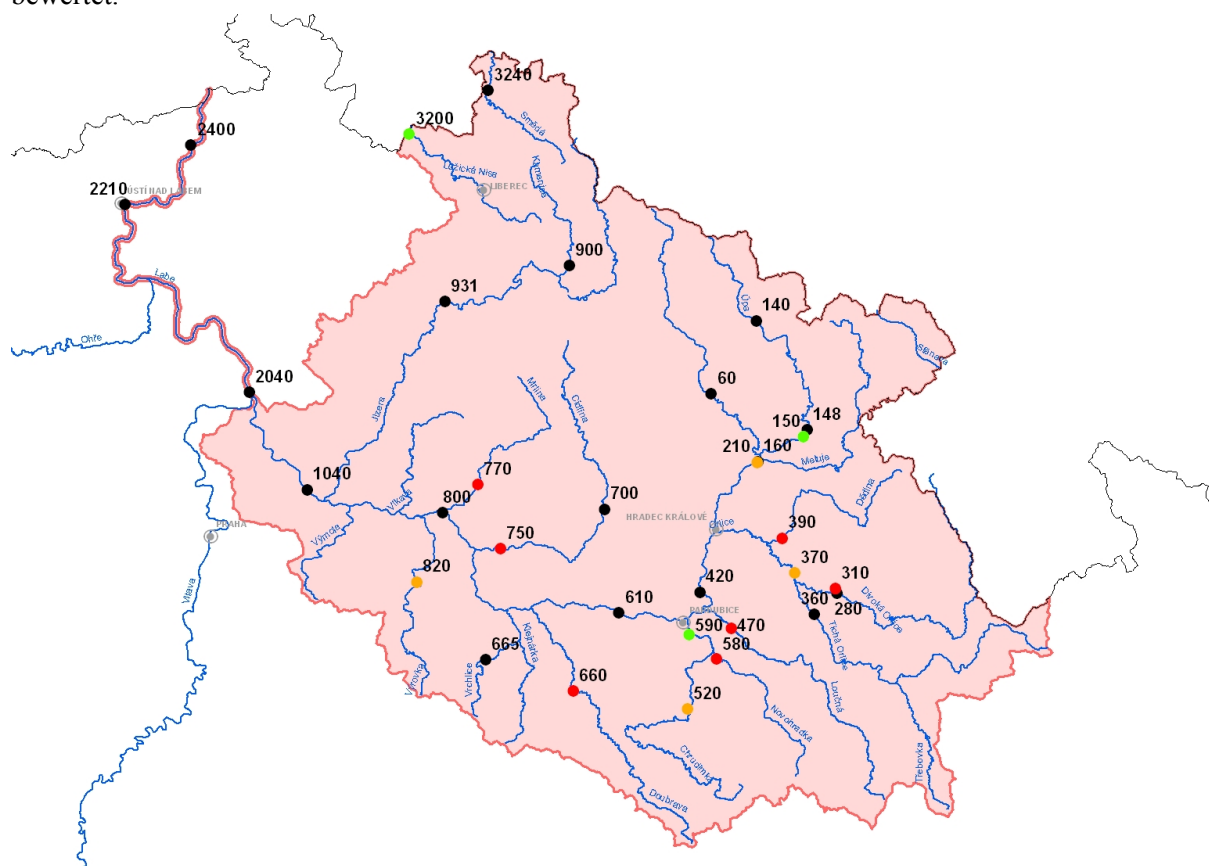


Abb. 2: Karte der territorialen Zuständigkeit des Staatsbetriebs Povodí Labe mit dargestellten Bilanzprofilen des staatlichen Netzes. Der aktive Bilanzzustand ist grün gekennzeichnet, der ausgewogene gelb und der passive rot.

Obwohl in der vom Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk erarbeiteten Studie nicht alle Bilanzprofile einbezogen wurden, die für die wasserwirtschaftliche Bilanz genutzt wurden, ist eine teilweise Übereinstimmung zwischen Abb. 1 und Abb. 2 erkennbar.

4 Lösung der angespannten Wasserhaushaltssituation

Eine der Möglichkeiten, wie die angespannte Wasserbilanz der Profile gelöst werden kann, ist der Bau von Talsperren. Bis Ende 2009, als die Pläne der Flussgebietseinheiten genehmigt wurden, war das Verzeichnis der perspektivischen Talsperren gültig, das in der Publikation „Wasserwirtschaftlicher Leitfaden Nr. 34“ aus dem Jahr 1988 enthalten ist. Im Einzugsgebiet der Oberen und der Mittleren Elbe enthielt dieses Verzeichnis insgesamt 100 Talsperren, davon 39 vorbehaltene und 61 registrierte. Die vorbehaltenen Talsperren waren in drei Schutzkategorien entsprechend ihres voraussichtlichen Baubeginns eingeteilt. Ursprünglich sollte das Verzeichnis der Standorte, die für die Speicherung von Grundwasser geeignet sind, Bestandteil des „Planes der Haupteinzugsgebiete der Tschechischen Republik“ werden. Die Bewertung der ursprünglichen Standorte aus dem Wasserwirtschaftlichen Leitfaden wurde von einem sog. Expertenteam durchgeführt, das aus Vertretern der Ministerien, der Bezirke, des Umweltschutzes, des Forschungsinstitutes für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk, des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts und der Gewässerunterhaltung bestand. Die Bewertung erfolgte im Hinblick auf die Sicherstellung der Kompensation der Auswirkungen des Klimawandels. Für die Bewertung standen die Ergebnisse der Studie des Forschungsinstituts für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk „Abschätzung des für die Kompensation des Rückgangs des Abflusses infolge des Klimawandels erforderlichen Talsperrenvolumens“ zur Verfügung. Für den Plan der Haupteinzugsgebiete der Tschechischen Republik wurde das Verzeichnis von 39 Standorten ausgewählt. Letztendlich wurde aber dieses Verzeichnis nicht in den Plan der Haupteinzugsgebiete der Tschechischen Republik aufgenommen. Für die Bewertung der Standorte für die Erarbeitung des Generalplanes der Standorte für die Speicherung von Oberflächenwasser wurde das im Rahmen der Bewertung durch ein Expertenteam erstellte Verzeichnis von 34 Talsperren verwendet. In der ersten Runde wurde dieses Verzeichnis auf 23 Standorte reduziert, nach Erörterung mit der Agentur für Natur- und Landschaftsschutz der Tschechischen Republik wurde es um weitere 8 Standorte auf 15 reduziert. Nach der Genehmigung des Generalplanes der Standorte für die Speicherung des Oberflächenwassers im September 2012 enthält der Plan letztendlich 13 Talsperren. Diese 13 ausgewählten Standorte decken jedoch nicht den Bedarf aller passiven Bilanzprofile laut der Studie des Forschungsinstituts für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk. Diese Tatsache betrifft z. B. die Wasserläufe Cidlina, Novohradka oder Dědina.

Im Ergebnis von Verhandlungen mit der Agentur für Natur- und Landschaftsschutz der Tschechischen Republik können an diesen Standorten nur Polder errichtet werden, die zwar zur Reduzierung der Scheitelabflüsse bei Hochwasser beitragen, aber bei Niedrigwasserständen, bei denen die Wassermenge im Gewässerbett aufgehört werden muss, wirkungslos sind.

Weitere Möglichkeiten zur Lösung des angespannten Wasserhaushalts sind die Orientierung auf einen sparsamen Wasserverbrauch durch wassersparende Technologien, die effektive Nutzung von Abwasser und Niederschlagswasser, die Reduzierung der Rohrleitungsverluste. Die Wiederverwendung von Wasser kann in der Industrie oder in Haushalten realisiert werden; in der Landwirtschaft ist das nicht gut möglich. Im Hinblick auf die erforderliche Technologie ist die Wiederverwendung von Wasser in der Industrie allerdings noch nicht sehr verbreitet.

Tabelle 1

Am sparsamsten im Wasserverbrauch sind bei den ausgewählten europäischen Ländern die Franzosen und die Niederländer. Wie zu sehen ist, haben wir in der Tschechischen Republik noch gewisse Reserven. (Quelle: ERNST & YONG 2012, S. 9, Tabelle 3)

	sparsame Waschmaschine	Toilettenspülkästen mit getrennter Spülung	Duschsparkopf
Tschechische Republik	28 %	67 %	56 %
Frankreich	62 %	61 %	67 %
Italien	58 %	42 %	43 %
Niederlande	63 %	63 %	58 %
Norwegen	45 %	34 %	59 %
Schweden	44 %	40 %	48 %
Durchschnitt der ausgewählten Länder	50 %	51 %	55 %

Der Wasserverbrauch in Haushalten sinkt vor allem aufgrund der steigenden Wasserpreise und dank sparsamer Geräte (Abb. 3), allerdings steigt paradoxerweise mit abnehmender Menge des entnommenen Wassers sein Preis.

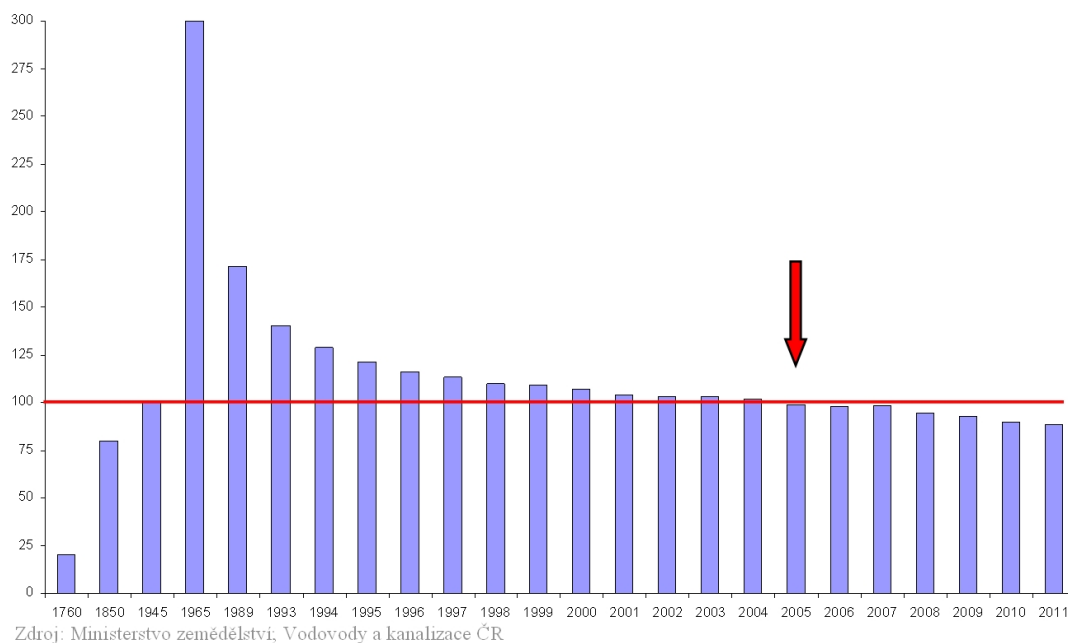


Abb. 3: Spezifische in Rechnung gestellte Wassermengen für Haushalte in der Tschechischen Republik in Litern pro Einwohner und Tag (Quelle: Ministerium für Landwirtschaft, Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung der Tschechischen Republik)

Seit 1989 ist in der Tschechischen Republik ein kontinuierlicher Rückgang des Wasserverbrauchs in Litern pro Einwohner zu verzeichnen. Seit 2005 liegt er sogar unter 100 Litern pro Person und Tag, was das von der Weltgesundheitsorganisation deklarierte Minimum ist.

Wir haben also noch einige Reserven, aber wie weit können wir in der Reduzierung des Wasserverbrauchs noch gehen?

Literatur

ERNST & YOUNG (2012): Analýza stavu vodárenství ve vybraných evropských zemích

Ministerstvo zemědělství ČR: Vodovody a kanalizace ČR 2000-2010

Povodí Labe, státní podnik: Vodohospodářská bilance za rok 2002-2011

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (2008): Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe



Kontakt:

Jiří Skořepa

Povodí Labe, státní podnik

Víta Nejedlého 951

Hradec Králové 500 03

Tel.: +420 495 088 676

Fax: +420 495 088 652

E-Mail: skorepaj@pla.cz

1995 - 2001

Studium an der Fakultät für Bauwesen der Tschechischen Technischen Hochschule Prag

seit 2004

Referent im Referat Hydrotechnik der Abteilung
Pflege des Wasserdargebots im Staatsbetrieb
Povodí Labe

Beteiligung an Projekten:

- Seit 2004: Festlegung der Überschwemmungsgebiete von Wasserläufen (1-D Modellierung Mike11, HEC-RAS)
- 2007: Projekt Leonardo da Vinci - WALTER - SK/05/B/F/PP - 177 435 „Teaching and learning in Virtual Learning Environment for Water Management“
- 2010 – 2012: Projekt 1CE037P3 INTERREG IV B Central Europe LABEL - Arbeitsgruppe RISK
- 2013: Projekt SedBiLa „Bedeutung der Bílina als historische und derzeitige Verschmutzungsquelle für den Umgang mit Sedimenten im Einzugsgebiet der Elbe“

Informationsbedarf zu den Auswirkungen des Klimawandels – Erwartungen aus der Perspektive des Wasserstraßenbetreibers

Thomas Gabriel

1 Einleitung

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ist im Rahmen ihres gesetzlichen Auftrages zuständig für die Aufrechterhaltung von Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auf Bundeswasserstraßen und darüber hinaus für den geregelten Abfluss, sofern der verkehrliche Bezug gewahrt ist. Hierzu gehört in besonderem Maße die Sicherstellung der für die Schifffahrt bereitzustellenden Fahrrinntiefen in staugeregelten Gewässern und Kanälen sowie der Anspruch, an frei fließenden Gewässern der Schifffahrt über das Jahr die bestmöglichen Abladebedingungen zu gewährleisten. Vor diesem Hintergrund stellen sich in Bezug auf den Klimawandel mit den damit verbundenen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt unterschiedliche Fragen und Erwartungen für die Planung, den Betrieb und die Unterhaltung der jeweiligen Wasserstraßen, um daraus für die Zukunft geeignete Anpassungsstrategien entwickeln zu können. Wünschenswert sind dabei im besten Falle belastbare Erkenntnisse zur konkreten hydroklimatischen Entwicklung in den Flussgebieten. Allgemein anerkannte Aussagen über die Spannweite möglicher Entwicklungen und Trends sind zur Orientierung jedoch unverzichtbar.

2 Betroffenheit des Wasserstraßenbetreibers

Der Informationsbedarf und die Erwartungen des Wasserstraßenbetreibers in Bezug auf den Klimawandel lassen sich am besten aus der in diesem Zusammenhang stehenden Betroffenheit ableiten. Für die Wasser- und Schifffahrtsdirektion (WSD) Ost mit den ihr nachgeordneten Wasser- und Schifffahrtsämtern (WSÄ) bzw. Wasserstraßenneubauämtern (WNÄ) ist diese aus Ihrer Zuständigkeit für die Planung, den Betrieb und die Unterhaltung der ca. 2.350 km Wasserstraßen zwischen Elbe und Oder grundsätzlich gegeben (Abb. 1). So haben veränderte hydroklimatische Verhältnisse nicht nur Auswirkungen auf die Nutzung der Gewässer als Verkehrsweg, sondern führen auch zu Änderungen bzw. Anpassungen in der verkehrsbezogenen Gewässerunterhaltung oder müssen gegebenenfalls auch bei der zukünftigen Verkehrswegeplanung entsprechende Berücksichtigung finden.



Abb. 1: Zwischen Elbe und Oder; das Aufgabengebiet der WSD Ost

3 Erwartungen allgemeiner Art an die Klimaforschung

Das Aufzeigen der Möglichkeiten und Grenzen in der heutigen Klimaforschung ist in diesem Zusammenhang von vorrangigem Interesse. Hierbei muss klar hervorgehoben werden, welchen qualitativen Charakter die Aussagen bezüglich einer zukünftigen Entwicklung des Klimas haben. Werden diese auf der Grundlage von konkreten Prognosen formuliert oder sind sie das Ergebnis von Szenarien bzw. Klimaprojektionen, die je nach Eingangsannahme und verwendetem Modelltyp voneinander abweichende Ergebnisse aufweisen können.

Ist es nach heutigem Stand noch nicht möglich detaillierte Prognosen aufzustellen, so sind Multimodellansätze, die im Ergebnis das Spektrum möglicher Entwicklungen abbilden, ein guter Ansatz, um den künftigen Verlauf klimabedingter Veränderungen eingrenzen zu können. In einem weiteren Schritt wäre hierbei die Ausweisung von Vertrauenswahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Entwicklungsbereiche notwendig. Auch eine Differenzierung zwischen klimatisch bedingten Veränderungen im Wasserhaushalt der näheren Zukunft und Veränderungen, die sich erst in mehreren Dekaden einstellen können, ist für eine vorrausschauende Planung von besonderer Bedeutung.

Ein Kernanliegen aus der Sicht des Wasserstraßenbetreibers ist die Zusammenführung der Ergebnisse aus der Klimaforschung. Unterschiedliche oder widersprüchliche Aussagen zu klimabedingten Änderungen des Wasserhaushaltes führen letztendlich zur Verunsicherung hinsichtlich eines zukünftigen Handlungsbedarfs.

Für das Elbeeinzugsgebiet bedeutet dies, dass die bisher erarbeiteten Ergebnisse aus der Klimaforschung dann eine verlässliche Planungsgrundlage sein können, wenn die aus unterschiedlichen Forschungsansätzen entwickelten Aussagen abgestimmt werden und sich bestenfalls sogar gegenseitig ergänzen.

Aus diesem Grund erfolgt der Vorschlag, die von verschiedenen Einrichtungen und Forschungsverbünden für das Elbeeinzugsgebiet im Rahmen der Forschungsprojekte GLOWA Elbe und KLIWAS Elbe erstellten Ergebnisse zusammen mit den tschechischen Untersuchungsergebnissen zum Klimawandel in einem gemeinsamen Projekt zu bewerten und abzugleichen. Eine Beauftragung unter dem Dach der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) erscheint hierfür besonders geeignet.

4 Informationsbedarf für die Wasserstraßenplanung

Der Bedarf an Informationen zur allgemeinen Entwicklung klimatisch bedingter Veränderungen des Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet der Elbe und die Frage nach der Qualität der Aussagen zu den möglichen Veränderungen ist von grundsätzlicher Art. Im Anschluss stellt sich konkret der Informationsbedarf zu hydroklimatisch bedingten Veränderungen in Bezug auf den Betrieb der Wasserstraße und den Notwendigkeiten, die sich daraus für die Unterhaltung ergeben.

Im Einzelnen sind hier Angaben zu zukünftigen Änderungen auf das Abflussverhalten insbesondere an den frei fließenden Flüssen von herausragendem Interesse. Geänderte Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeiten wirken sich direkt auf die Nutzbarkeit bzw. Verlässlichkeit von Flüssen als Verkehrsweg aus. Zu nennen sind hier z. B. mögliche Veränderungen der durchschnittlichen Anzahl von Tagen mit zuverlässig vorhandenen Mindesttiefen oder Tage mit Einschränkungen der Brückenpassierbarkeit als Folge zu hoher Wasserstände. Darüber hinaus stellt sich für die Unterhaltung der Wasserstraße die Frage, inwieweit durch ein geändertes Abflussverhalten Auswirkungen auf das Gewässerbett und somit auf Aspekte der Standsicherheit der Regelungsbauwerke bzw. auf deren Funktion zu erwarten sind und gegebenenfalls Anpassungen notwendig machen.

An staugeregelten Gewässern mit schiffahrtlicher Nutzung ergeben sich im Zusammenhang mit zukünftigen klimabedingten Änderungen beim Abfluss im Niedrigwasserbereich Fragen zu Auswirkungen auf die jeweiligen Stauziele in den Haltungen und somit auf mögliche veränderte zeitliche Beschränkungen in der Verfügbarkeit der vom Wasserstraßenbetreiber bisher vorgehaltenen Fahrrinntiefen. Für die Bauwerksplanung an und in den Wasserstraßen sind möglichst konkrete Aussagen in Bezug auf hydroklimatische Veränderungen von besonderem Interesse.

Neben den direkten Auswirkungen hydroklimatischer Änderungen auf die Wassermengenverfügbarkeit sind aus nautischer Sicht für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schifffahrtsbetriebes auch Fragen bezüglich möglicher Veränderungen der Witterungsverhältnisse von Bedeutung. Das betrifft z. B. die durchschnittliche Anzahl der Eistage, an denen die Schifffahrt gesperrt werden muss. Ähnliches gilt für Nebeltage.

Liegen belastbare Erkenntnisse und Aussagen zum hier genannten Informationsbedarf aus der Sicht des Wasserstraßenbetreibers vor, müssen sich in der Folge Risikobewertungen hinsichtlich der zu erwartenden klimabedingten Auswirkungen anschließen, um im Anschluss die jeweils notwendigen Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Beantwortet werden muss in diesem Zusammenhang auch die Frage, ob die jeweiligen Teileinzugsgebiete der Elbe gleichermaßen von hydroklimatischen Veränderungen betroffen sind, oder ob differenzierte Aussagen für die einzelnen Flussgebiete im Elberaum notwendig sind. Aus den Risikobewertungen zusammen mit einer möglicherweise teileinzugsgebietsbezogenen Betrachtung können dann für die verkehrsbezogene Gewässerunterhaltung gegebenenfalls technische Anpassungsoptionen oder angepasste Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen (Wasserrückhalt für Niedrigwasserphasen, Erhöhung von Speicher-/ Bewirtschaftungslamellen, Wasserüberleitungen aus Überschussregionen) realisiert werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Beantwortung von Fragen zu den Auswirkungen des Klimawandels mit den Folgen für den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Elbe ist für den Wasserstraßenbetreiber von zentraler Bedeutung. Die zukünftige Wassermengenverfügbarkeit, die Abflussverteilung über das Jahr und die Entwicklung anderer hydroklimatisch bedingter Parameter, wie z. B. Eistage, bilden eine wichtige Planungsgrundlage für den Betrieb und die Unterhaltung der Wasserstraße. Aussagen zur Belastbarkeit und Qualität der Ergebnisse bzw. zu den Grenzen in den gewählten Methodenansätzen sind dabei erforderlich. Gleichermäßen notwendig ist es aber auch, vorhandene Ergebnisse aus der Klima- und Wasserhaushaltsforschung des Elbegebietes auf nationaler und internationaler Ebene zusammenzuführen. Mit der IKSE steht hierfür eine geeignete Institution zur Verfügung, unter deren Federführung dies gelingen kann.

Literatur

BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und stadtentwicklung (2012): KLIWAS, Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland; 2. Statuskonferenz, Bonn, Mai 2012



Kontakt:

Thomas Gabriel

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost
Gerhart-Hauptmann-Straße 16
39108 Magdeburg
Tel.: 0391/ 2887 3442
Fax: 0391/ 2887 3030
E-Mail: thomas.gabriel@wsv.bund.de

Jahrgang 1963

1984-1991

Studium der Geographie an den Universitäten
Göttingen und Hamburg

1991-1992

freier Mitarbeiter Ing.-Büro

1993

Wiss. Angestellter TU Berlin, Institut für Geogra-
phie

seit 1993

Angestellter der Wasser- und Schifffahrtsdirektion
Ost

Entwicklung der Schifffahrt in der Tschechischen Republik – die Elbe als Wasserstraße

Jan Bukovský

1 Schifffahrt und Gesellschaft

Die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft und die Gründung von Siedlungen sind historisch mit Wasserläufen verbunden, die die Durchgängigkeit der Landschaft garantierten und eine Energie- und Wasserressource darstellten. Die Landwirtschaft, der Verkehr und das Handwerk und später die Industrie waren an die Wasserläufe und die angrenzenden Flussauen gebunden. Im Rahmen der schrittweisen Kolonisierung größerer Gebiete begann die Gesellschaft, auch andere Verkehrsträger auf dem Landwege zu nutzen, die Gesellschaft hat dadurch ihre Umwelt immer stärker umgestaltet. Der Aufbau der Infrastruktur bringt nämlich sehr häufig größere Eingriffe in die Landschaft mit sich, als das bei der Nutzung der Wasserläufe der Fall ist.

2 Die Elbe als Wasserstraße

Der Verkehrskorridor der Elbe hat eine grundsätzliche Bedeutung für den Transport von Produkten und Waren, insbesondere für die Tschechische Republik, aber auch für die anderen mitteleuropäischen Länder. Das Hauptziel ist die Sicherstellung eines nachhaltigen Verkehrssystems in diesem Korridor in voller Multimodalität unter Einbeziehung des Straßen- und Schienenverkehrs und der Schifffahrt. Die Elbe ist Bestandteil des transeuropäischen Verkehrsnetzes TEN-T und seines „core-network“. Für die Tschechische Republik ist sie aus der Sicht der Schifffahrt die einzige Verbindung mit dem entwickelten Netz der europäischen Binnenwasserstraßen und Anbindung an die Seehäfen. Es gibt jedoch anhaltende Probleme mit der Stabilität dieser Anbindung, die durch lokale Schwachstellen auf dem Wasserweg bedingt sind (Abb. 1).

2.1 Kennziffern der Elbe als Wasserstraße

Für die Elbe als Wasserstraße ist Folgendes charakteristisch:

- > niedrige Transportkosten – die Schifffahrt wirkt im Rahmen des Elbe-Verkehrskorridors als Preisregulator, sie ermöglicht eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit (Bedeutung für die tschechische Wirtschaft)

- > große freie Kapazität – grundsätzliche Bedeuerung für kosteneffiziente Entscheidungen bei Problemlösungen von Verkehrsträgern auf dem Landweg
- > niedrigste Unfallquote, Verkehrssicherheit
- > geringe Auswirkungen auf die Umwelt, vor allem aus der Sicht der Lärmbelastung, aber auch aus der Sicht der Emissionen – die Stärkung des Anteils der auf dem Wasserwege realisierten Transporte ist aus der Sicht der Auswirkungen des Verkehrs als Ganzes auf die Gesundheit der Bevölkerung günstig

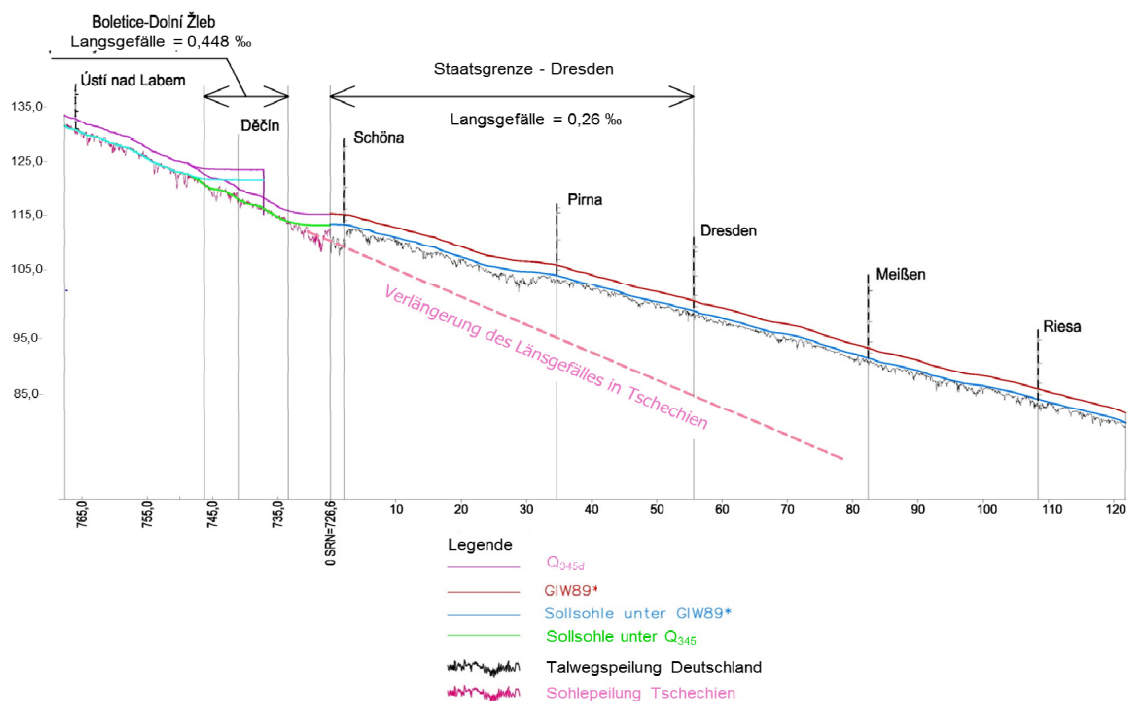


Abb. 1: Längsprofil der Elbe zwischen Ústí nad Labem und Riesa

2.2 Wasserstraße und Klimawandel

Der sich vollziehende Klimawandel stellt im Allgemeinen durch die veränderten Wassermengen in den Wasserläufen und die verminderte Verfügbarkeit des Wassers eine Bedrohung dar. Dieser Faktor ist bei weitem nicht nur für die Schifffahrt ein limitierender Faktor, da viele Wassernutzungen von der Wassermenge in den Flüssen abhängig sind. Primär sind das die Industrie (technologisches Wasser), die Landwirtschaft (Beregnungswasser), der Verkehr (Gewährleistung der Tauchtiefen), der Tourismus (Standorte für die Freizeitgestaltung), die Energiewirtschaft (Energiequellen), aber gleichzeitig auch die Natur und Umwelt (Ökosysteme, Biotope, Arten). Sekundär ist es die Einleitung von Abwässern.

Die meisten Szenarien der künftigen Klimaentwicklung in Mitteleuropa und im Einzugsgebiet der Elbe gehen davon aus, dass die Jahresniederschlagsmengen und die Jahresmittelwerte der Niederschläge gleich bleiben oder sich nur geringfügig ändern werden, dass es aber größere Veränderungen in der Verteilung der Niederschläge im Laufe des Jahres und damit größere Schwankungen in den Abflüssen geben wird. Ausgehend von diesen Voraussetzungen werden das Erfordernis des Wasserrückhalts und der Wasserspeicherung sowie die

Notwendigkeit, die Abflüsse zu verlangsamen und zu steuern – also ein erforderliches effektives Management – immer aktueller. In Frage kommen strukturelle und technische Maßnahmen direkt an den Wasserläufen sowie Maßnahmen in der Landschaft. Für die Wasserspeicherung können Talsperren und Wehre gebaut werden, zur Verlangsamung des Wasserabflusses werden komplexe Revitalisierungsmaßnahmen an den Wasserläufen und Flussauen durchgeführt, als Maßnahmen gegen Eutrophierung und Verklausung von Wasserläufen werden Erosionsschutzmaßnahmen u. Ä. durchgeführt. Die Maßnahmen müssen immer unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Interessen und der Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes und der Minimierung der Interessenskonflikte vorgeschlagen werden.

3 Anpassungsmöglichkeiten

3.1 Anpassung der Schiffe

Die Elbe-Flotte durchläuft eine historisch gesehene Vollanpassung an den Charakter und Zustand der Elbe-Wasserstraße. Schiffe mit geringer Tauchtiefe sind hier schon lange in Betrieb; moderne Experimente (flachgehende Binnenschiffe - FlaBi-Schiffe) haben keine neuen Lösungen gebracht. Flabi-Schiffe gibt es praktisch nicht; für die Elbe wurde nur ein Projekt geschaffen, wobei bei Tauchtiefen unter 1,4 m nicht einmal für diesen Entwurf ein effektiver Betrieb sichergestellt ist. Außerdem wurde auf Grund der hohen Anschaffungskosten im Jahr 2001 von diesem Projekt abgegangen. Auf dem Markt gibt es keine Schiffe, die der Elbe besser angepasst wären als die vorhandenen Elbeschiffe, eine weitere Anpassung ist deshalb nicht real.



Nosnost = Tragfähigkeit, Ponor = Tauchtiefe, Tun = Tonnen

Abb. 2: Musterschiffsverband eines Schiffes mit geringer Tauchtiefe auf der Elbe
(Abmessungen: 134-137 m lang und 10,4-11,4 m breit)

3.2 Anpassung des Wasserlaufs

Wie bereits oben gesagt wurde, sind von der Wassermenge nicht nur die Schifffahrt abhängig, sondern viele weitere menschliche Tätigkeiten (sog. Wassernutzung) einerseits und das Wasserökosystem bzw. wassergebundene Ökosysteme andererseits. Diese Tatsache bringt das Erfordernis der Wasserspeicherung und Möglichkeiten der Wasserbewirtschaftung mit sich. Die Anpassung der Flüsse und Einzugsgebiete ist möglich. Die Anpassung kann zu

Revitalisierungen führen. Es handelt sich zum Beispiel um den Deichversatz und die Revitalisierung von Flussauen, den Bau von Uferbuhnen und die naturnahe Ufergestaltung sowie um Strukturmaßnahmen in der Landschaft, die den Wasserrückhalt fördern.

4 Schifffahrt und Wirtschaft und Umwelt

Laut den Studien der PLANCO Consulting GmbH (2007) und INE (2005) ist die Schifffahrt der wirtschaftlichste und gleichzeitig umweltfreundlichste Verkehrsträger. Beim Vergleich der Verkehrsträger wird deutlich, dass beim Transport der gleichen Warenmenge (in kJ/tsd. km) der spezifische Energieverbrauch beim Straßengüterverkehr am höchsten liegt. Demgegenüber beträgt der Energieverbrauch im Schienenverkehr in etwa nur die Hälfte und bei der Schifffahrt nur ein knappes Drittel. Maßstab für die Auswirkungen des Güterverkehrs auf die Umwelt sind seine externen Kosten. Dazu gehören Kosten im Zusammenhang mit Unfällen, Lärmschutzmaßnahmen, Maßnahmen gegen Verschmutzung und Exhalationen, die Nutzung der Infrastruktur sowie die Überlastung der Straßen. Aus dieser Sicht sind die für die Schifffahrt sprechenden Ergebnisse noch günstiger. Die höchsten Kosten hat wiederum der Straßengüterverkehr, gefolgt vom Schienenverkehr (56,5 % der Kosten des Straßenverkehrs). Die Schifffahrt weist die niedrigsten externen Kosten auf (nur 14 % der Kosten des Straßenverkehrs). Eine weitere wichtige Kennziffer ist der Richtpreis für die Transporte. Beim Vergleich von Massengütertransporten auf der Strecke Hamburg - Dčín beträgt der Preis für den Straßentransport 54 €/t, der Preis für den Transport auf dem Schienenweg 23 €/t und der Preis für den Schiffstransport nur 9 €/t. Bei den aktuellen Transportvolumina werden durch die Schifffahrt ca. 160 Mio. €/Jahr an Transportkosten gespart.

Literatur

Inland Navigation Europe - INE (2005): Water transport, environment and sustainability, Brussels.

PLANCO Consulting GmbH (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, Essen, Hrsg.: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost.



Kontakt:

Jan Bukovský

Ředitelství vodních cest ČR

Vinohradská 184

130 52 Praha 3

Czech Republic

Tel.: +420 267 132 806

Fax: +420 267 132 804

E-Mail: bukovsky@rvccr.cz

Jahrgang: 1976

1995-2001

Studium an der Fakultät für Bauwesen der Tschechischen Technischen Hochschule Prag, Studiengang Unternehmen und Unternehmensführung im Bauwesen

2001-2008

Doktorandenstudium an der Fakultät für Bauwesen der Tschechischen Technischen Hochschule Prag, Studiengang Ökonomie und Management im Bauwesen, Spezialisierung Sozioökonomische Einflüsse von Investitionen auf die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur

seit 2002

Wasser- und Schifffahrtsdirektion der Tschechischen Republik, 2004-2011 Referatsleiter Entwicklung, seit 2011 Referatsleiter Durchführung, während der gesamten Zeit auch zuständig für die Verwaltung und Finanzierung von Projekten, die mit EU-Strukturfondsmitteln gefördert werden

Schlussbemerkungen

Thomas Maurer

Der Wasserhaushalt der Elbe reagiert sensibler auf Veränderungen als der weiter westlich gelegener Einzugsgebiete. Denn die Elbe ist weniger wasserreich und ihr Wasser wird intensiver bewirtschaftet. Die Zahlen und Relationen in Tabelle 1 verdeutlichen dies im Vergleich zum Rhein – die Elbe unterscheidet sich nicht nur absolut, sondern auch relativ durch wesentlich geringere Abflusshöhen. Damit wirken sich Änderungen der Größen Niederschlag oder Verdunstung gewissermaßen mit größerem Hebel auf Wasserdargebot und Abflussmenge aus.

Tabelle 1

Vergleich der Wasserbilanzkomponenten der Flussgebiete Rhein und Elbe (langjährige Mittelwerte)

Flussgebiet	Niederschlag N [mm/a]	Verdunstung ETA [mm/a]	Abfluss R [mm/a]	Verhältnis R/N [%]
Elbe	~ 630	~ 450	~ 180	29
Rhein	~ 950	~ 550	~ 400	42
Verhältnis Rhein/Elbe	1,5	1,2	2,2	1,5

Ein Indikator für die intensivere Wasserbewirtschaftung ist das Verhältnis zwischen installiertem Speichervolumen und Jahresabfluss. Wie wir z. B. im Vortrag von Herrn Grünewald gehört haben, werden im Elbegebiet etwa 4 Mrd. m³ Wasser in Speichern zurückgehalten (s. auch SIMON et al. 2005). Das ist bezogen auf den Jahresabfluss von 27 Mrd. m³/a fast viermal so viel ist wie im Rheingebiet, wo die Speicherkapazität bei dreifachem Jahresabfluss (79 Mrd. m³/a) bei etwas mehr als 3 Mrd. m³ liegt (WILDENHAHN & KLAHOLZ 1996).

Im Verlauf dieser Veranstaltung haben wir uns mit der Frage beschäftigt, wie die Zukunft des Wasserhaushaltes im Elbeeinzugsgebiet aussehen könnte, denn dies ist Voraussetzung dafür, Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Hinsichtlich des Einflusses unterschiedlicher Szenarien des Klimawandels wurde sowohl in den Vorträgen von Herrn Danhelka, Herrn Hanel, Herrn Koch und Frau Lingemann deutlich, dass es eine recht große Bandbreite von möglichen zukünftigen Entwicklungen des Abflussgeschehens gibt, je nach dem, welche Modelle und Szenarien zugrunde gelegt werden. Dabei hängt nicht nur die Größe, sondern auch die Richtung der Änderung stark von dieser Wahl ab. Neben den Unsicherheiten aus der Klimamodellierung spielen aufgrund der o. g. relativ großen Sensitivität auch die Unsicherheiten aus der Modellierung der hydrologischen Prozesse, vornehmlich der Verdunstungsprozesse im Zusammenspiel mit dem Bodenwasserhaushalt, eine erhebliche Rolle. Von Frau Lingemann wurden z. B. für die Periode 2021-2050 (die sogenannte nahe Zukunft) relativ zur Be-

zugsperiode 1961-1990 für den Durchschnitt der jährlichen Niedrigwasserkenngröße NM7Q an verschiedenen Elbepegeln Veränderungen von je nach Modellkette zwischen etwa -15 % und +15 % vorgetragen, im Vortrag von Herrn Koch waren nach HATTERMANN et al. sogar noch erheblich größere Bandbreiten für das Klimasignal der mittleren Abflüsse zu sehen.

Aufgabe unserer Forschungen, Entwicklungen und Beratungen ist es, (1) die Bandbreite aufzuzeigen, sie (2) nach Möglichkeit auch zu reduzieren, indem daran gearbeitet wurde, unplausible Projektionen zu identifizieren und auszusortieren und gleichzeitig an der Modellverbesserung zu arbeiten, und schließlich aber (3) auch, die unvermeidlichen Unsicherheiten in einen Kontext zu stellen und zu bewerten.

Zu letztgenanntem Punkt wird im Vergleich der genannten Ergebnisse von Frau Lingemann mit der historischen Zeitreihe der Niedrigwasserkenngröße NM7Q aus dem Vortrag von Herrn Belz (Abb. 1) beispielsweise zweierlei deutlich, nämlich erstens, dass die historische Variabilität des Kennwertes hier wesentlich größer ist als die Bandbreite des ermittelten Klimasignals, und zweitens, dass anthropogene Einflüsse ohne Weiteres größere Auswirkungen als Klimaeinflüsse haben können bzw. umgekehrt diese auch kompensieren können – nämlich wenn sie bewusst als Anpassungsmaßnahme eingesetzt werden. Im o. g. Beispiel würde die von 1900 bis 1965 zwischen 40 und 180 m³/s um etwa 100 m³/s schwankende Zeitreihe nur um einen Betrag von bis zu etwa 15 m³/s nach oben oder unten verschoben (unter der Annahme gleichbleibender Variabilität). Und wie man an den viel höheren niedrigsten Abflüssen seit den 1960er-Jahren von etwa 100 m³/s erkennt, hat eine Maßnahme wie der Bau der Moldaukaskade das Potenzial, Auswirkungen von Klimaveränderungen nicht nur zu kompensieren, sondern sogar überzukompensieren. Auch der Vortrag von Frau Dr. Ebner von Eschenbach zeigte die u. U. erhebliche relative Bedeutung unterschiedlicher anthropogener Bewirtschaftungseinflüsse auf. Dies ist ein Beispiel für einen Fall, in dem Anpassung aus wasserwirtschaftlicher Sicht erfolgen kann bzw. de facto bereits erfolgt ist. Die Entscheidung, ob eine solche Anpassung tatsächlich vorgenommen oder auch weiterhin aufrechterhalten werden soll, erfordert jedoch in jedem Einzelfall (und ggf. auch wiederkehrend) die Abwägung von Nutzen und Kosten, u. a. ökonomischer, ökologischer und politischer Art.

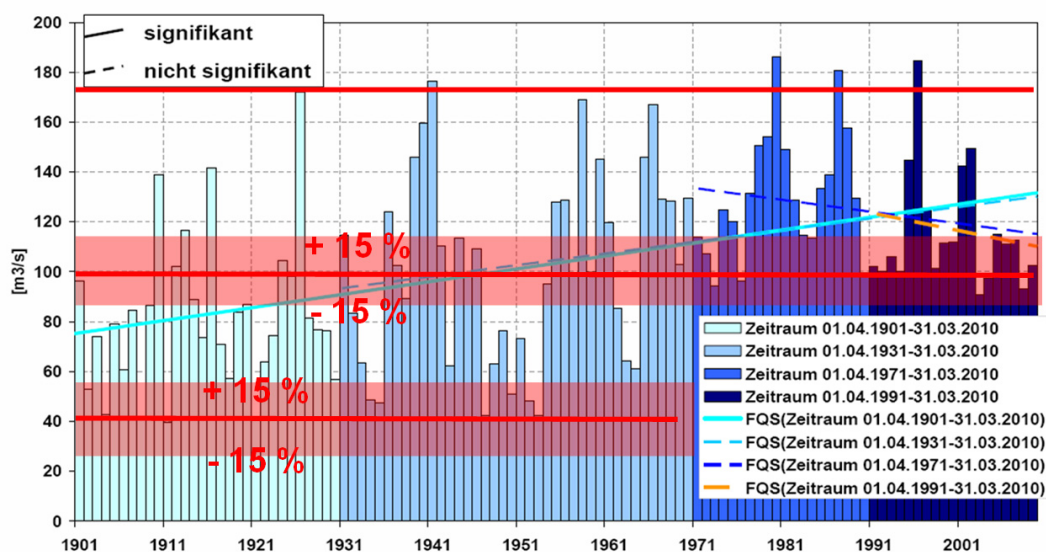


Abb. 1: Zeitreihe der niedrigsten jährlichen 7-Tagesmittel des Abflusses (NM7Q) am Pegel Děčín/Elbe aus Vortrag Belz. Rote Einträge illustrieren im Text genannte Grenzen und Klimasignale.

Die Herausforderung lautet nun, dazu beizutragen, dass Forschungsergebnisse relevant werden, indem wir helfen, sie in den politisch-administrativen Prozess zu transferieren und damit in die Entscheidungsfindung einzubringen. Ein solcher Prozess ist auch an der Elbe wichtig und die hier dokumentierte Veranstaltung kann als ein Baustein dazu angesehen werden, in dem Akteure der verschiedenen betroffenen Sektoren über Ländergrenzen hinweg einen Dialog pflegen, den es im Rahmen der bestehenden nationalen und internationalen Strukturen auszubauen gilt.

Eines der wichtigsten Ergebnisse ist die Feststellung, Bestätigung und Untermauerung der Tatsache, dass Bandbreiten existieren. Es zeigt sich, dass es nicht die *eine* Zukunft geben kann, sondern Unsicherheiten bestehen. Dies ist eine für den Kenner triviale Feststellung, die in der heutigen, teilweise überhitzten öffentlichen Diskussion aber nicht immer klar kommuniziert wird. Veranstaltungen wie die hier dokumentierte tragen dazu bei, die aus der Physik an sich altbekannte Notwendigkeit, sich mittels sorgfältigen Fehlerabschätzungen über die Grenzen von Untersuchungen klar zu werden, wieder deutlicher ins Bewusstsein zu rufen. Angesichts vieler Unwägbarkeiten bzw. der Notwendigkeit, ohnehin unterschiedlichste Szenarienannahmen, auch jenseits des Klimawandels, treffen zu müssen, ist darüber hinaus nicht zu erwarten, dass es sich bei den gefundenen um die einzig wahre, die Zukunft „richtig“ beschreibende Bandbreite handelt.

Nichtsdestotrotz geben die Ergebnisse Orientierung bei der notwendigen nachfolgenden Verwertung hin zu Entscheidungen des Verwaltungshandelns. Denn viel wichtiger als eine „Optimierung“ der Bandbreite ist es, Kriterien für die Wahl eines „Bemessungswertes“ für ein gegebenes Problem vor dem Hintergrund der gefundenen Bandbreite zu entwickeln. Ein solcher Wert wird allerdings je nach Sicherheitsbedürfnis, finanzieller Möglichkeit und anderen (ökonomischen, ökologischen, aber auch politischen) Randbedingungen typischerweise auf Basis einer Nutzen/Kosten-Betrachtung gewählt, die nicht allein durch Forscher festgelegt werden kann, sondern in die das gesellschaftliche Wertekonzept einfließen muss, angefangen mit der Entscheidung, auf welcher Ebene optimiert werden soll (volkswirtschaftlich, sektoral, regional, etc.).

Wasserbewirtschaftung ist die Kulturtechnik des Menschen, mit zeitlich bzw. räumlich nicht zufriedenstellender Wasserverfügbarkeit umzugehen. Alle grundsätzlich bekannten Methoden der Wasserwirtschaft (im Kern: Wasserspeicherung und -überleitung) sind daher (teilweise seit Jahrhunderten) altbekannte Anpassungsoptionen, tatsächlich leben wir fast überall seit langem in einem permanenten Prozess der Anpassung. Nicht alle grundsätzlich denkbaren Anpassungsmaßnahmen werden dabei zu allen Zeiten gleichermaßen herangezogen. Je nach herrschenden Rahmenbedingungen werden ihre „Kosten“, z. B. ökonomischer, ökologischer oder auch politischer Art, unterschiedlich bewertet, was dazu führen kann, dass gewisse Maßnahmen von vornherein bzw. in einem sehr frühen Stadium favorisiert oder aber genauso auch als „undenkbar“ ausgeschlossen werden können. (man denke z. B. nur an die Stauregulierung von Flüssen oder die Wassermengenbewirtschaftung von Seen oder künstlichen Speichern im Einzugsgebiet).

Entscheiden unter Unsicherheit ist kein neues Problem. Wissenschaft liefert rationale Grundlagen für eine politische Entscheidungsfindung, die aber u. U. weitere Aspekte berücksichtigen muss. Das Mittel der Wahl ist integriertes Risikomanagement, jenseits einer reinen Vermeidungsstrategie. Auch unter Klimawandel geht es „nur“ um eine Anpassung an eine (ggf.

veränderte) Variabilität von Wasserverfügbarkeit in Zeit und Raum, für die ein Instrumentarium existiert. Die konkreten Anpassungsmaßnahmen sind letztlich das Ergebnis einer Abwägung mit vier grundsätzlichen Koordinaten, nämlich mit:

1. der großräumigen Verfügbarkeit von (potenziell umverteilbarem) Wasser
2. der technischen Machbarkeit (Know-how) von Umverteilungsmaßnahmen
3. den finanziellen Ressourcen
4. dem politischen Willen bzw. dem gesellschaftlichen Wertesystem

Dabei muss in vielen Fällen nicht überstürzt gehandelt werden, vielmehr sollte in Abhängigkeit des potenziellen Schadens und der erforderlichen Reaktionszeiten differenziert agiert werden, wie in Tabelle 2 illustriert.

Tabelle 2

Zur Bewertung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen

Anpassung	potenzieller Schaden	gering	hoch
Reaktionszeit	Folge	=> irrelevant	=> genau beobachten
kurz	=> später entscheiden	Ad-hoc-Maßnahmen	fortlaufend untersuchen
lang	=> rechtzeitig entscheiden	Risiken hinnehmen	frühzeitig präventiv handeln

Angesichts der auch vorhandenen Gefahr von Fehlinvestitionen in schließlich doch nicht erforderliche Maßnahmen ist es in vielen Fällen sicherlich weiterhin eine gute Strategie, gewissermaßen „auf Sicht“ eine „Tie-in“-Strategie zu fahren (SCHNEIDER 1983, siehe Zitate in MAURER et al. 2011), d. h. Maßnahmen zu bevorzugen, die

- > die „Elastizität“ des Systems erhöhen,
- > flexibel angepasst werden können (No- or Low-Regret Maßnahmen),
- > Neben- bzw. ZweitNutzen haben (Win-win-Situationen).

Denn wie es Herr Pretel in seinem Vortrag sehr treffend mit einem zweieinhalbtausend Jahre (!) altem Zitat ausgedrückt hat: „Es ist nicht so wichtig die Zukunft vorauszusagen, aber es ist notwendig, sich darauf vorzubereiten...“ (Perikles, 493-429 vor Chr.).

Literatur

- HATTERMANN, F. F., H. HUANG, S. KOCH (in Begutachtung): Climate change uncertainty and impacts on hydrology and hydropower production in Germany. Hydrological Science Journal. Zitiert in <http://klimafolgenkonferenz.de/programm/hattermann.pdf> (letzter Aufruf 06.05.2013)
- MAURER, T., E. NILSON, P. KRAHE (2011): Entwicklung von Szenarien möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss- und Wasserhaushaltskenngrößen in Deutschland. Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe "Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel", acatech Materialien – Nr. 11, München. Online:

<http://www.acatech.de/de/publikationen/materialienbaende/uebersicht/detail/artikel/entwicklung-von-szenarien-moeglicher-auswirkungen-des-klimawandels-auf-abfluss-und-wasserhaushaltsk.html> (letzter Aufruf 06.05.2013)

SCHNEIDER, S. H. (1983): CO₂, Climate and Society: A Brief Overview. In: Chen, R. S., Boulding, E., Schneider, S. H. (Hrsg.): Social Science Research and Climate Change: An Interdisciplinary Appraisal, D. Reidel, Boston, 9-15.

SIMON, M., V. BEKELE, V. KULASOVA, C. MAUL, R. OPPERMAN, P. REHAK (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
<http://www.ikse-mkol.org/index.php?id=208&L=2> (letzter Aufruf 06.05.2013)

WILDENHAHN, E., U. KLAHOLZ (1996): Große Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. Bericht-Nr. II-10 der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), Lelystad und Koblenz, 57 S. ISBN 90 70980 21 5. <http://www.chr-khr.org/files/Rapport%20II%20-%2010.pdf> (letzter Aufruf 06.05.2013)

Kontakt:

Dr. Thomas Maurer

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5242

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: thomas.maurer@bafg.de

Měnicí se rámcové a okrajové podmínky pro vodní režim a (udržitelné) využívání vody v povodí Labe

Uwe Grünewald

1 Úvod

Vodní režim řeky Labe s povodím, které je čtvrté největší ve střední Evropě, byl a je vystaven nejrůznějším zásahům a vlivům. Kromě momentálně především diskutované klimatické změny způsobené antropogenními vlivy, to byly a jsou přirozená variabilita klimatu, změny ve využívání území, výstavba multifunkčně využívaných vodních nádrží a průkopů (v povodí), čerpání vody a její převádění pro zajištění potřeb průmyslu, zemědělství a dalších uživatelů, a dále rovněž úpravy říční krajiny pro účely lodní dopravy a ochrany před povodněmi. Zajišťování zásobování vodou, jejíž potřeba je územně a časově variabilní, uspokojování nároků často územně a časově rozdílné ochrany vodních zdrojů pro různé uživatele, a také prevence před ohrožením, které z vody pochází, bylo po celá staletí úkolem, s nímž se muselo vodní hospodářství v povodí Labe stále znovu vyrovnávat. Za dnešních společenských rámcových podmínek je třeba dostupné zásoby vody a její spotřebu uvést do přijatelného souladu, a to tak, že se bude vyvíjet vliv na využitelnost zásob vody a/nebo stávající spotřebu a zajistí se maximální udržitelnost.

2 Hlavní principy a pole pro aktivity v udržitelném nakládání s vodami – nejen v povodí Labe

Předpokladem pro udržitelné nakládání s vodními zdroji, které jsou k dispozici z přírodních potenciálů a dostupných zásob z povrchových a spodních vod v krajině, je vyvážený poměr mezi zásobami vody a její spotřebou v povodích řek (GRÜNEWALD 2003). Vyváženost znamená přitom vůbec jen kompletní uspokojování stávajících potřeb. V mnoha regionech světa už dnes přesahuje spotřeba vody disponibilní zásoby, takže jsou nutná řešení formou přednostního zásobování, stanovením priorit a vícenásobného využití vody. Avšak vyváženost se nesmí vztahovat jen na potenciální zásoby vod. Potenciální zásoba v rámci jednoho územního úseku se definuje jako difference mezi dlouhodobým průměrem srážek a vypařováním, zatímco stabilní zásoba vody se zobrazuje jako difference mezi potenciální zásobou vody a množstvím rychlých (sotva využitelných) povodňových odtoků. Přerozdělování vody je možné technicky především prostřednictvím retenčních nádrží a jejich režimem, jakož i zpřístupněním a využíváním regulovaných zásob vody.

Hodně zjednodušeně lze diskusi o udržitelném obhospodařování vodních zdrojů, kterou vedlo Bavorské ministerstvo životního prostředí a zdravotnictví (BSMUG) v r. 2012, shrnout následovně:

Spotřebovávat jen tolik vody, kolik se jí vzhledem k ekonomickým, ekologickým a sociálním aspektům, a to jak územně tak i časově, nově vytváří. U konceptu s názvem Integrovaný režim vodních zdrojů (IWRM), který se diskutuje na celém světě, by to znamenalo, že se musejí dodržovat principy

- > „ekologické únosnosti“ (... nejen efektivita zdrojů, nýbrž také udržení přírodních zdrojů jako voda, půda, ...)
- > „sociální únosnosti“ (... přístup k zásobování vodou za sociálně únosné ceny, stejná úroveň životních podmínek, ...)
- > „ekonomické slučitelnosti“ (... dostatek finančních zdrojů pro zachování stávajících struktur, rentabilita ...).

Udržitelné plánování a obhospodařování vodních zdrojů znamenalo dosud v mnoha zemích světa, ale také v Evropě a v některých regionech Německa, zvláště v německé části Polabí, velkou výzvu.

Bez odpovídajících výkonných postupů a souborů nástrojů (např. LOUCKS & VAN BEEK 2005) a adaptačních opatření (HÜTTL & BENS 2011; GRÜNEWALD et al. 2012), která reagují na globální změny – zvláště na proměnu krajiny a klimatickou změnu – není v budoucnu možné tuto výzvu zvládnout.

3 Labe a jeho povodí – jaká jsou zde specifika?

Pro celé povodí Labe existuje vynikající, podrobný „geograficko-hydrologický a vodohospodářský přehled“ (MKOL 2005) v českém a německém jazyce. Z rozsáhlého číselného materiálu, který je v něm obsažen, lze odvodit celou paletu hydrologických a vodohospodářských rámcových a okrajových podmínek, s nimiž se Labe a jeho povodí muselo a musí vyrovnávat. V žádném případě nepostačuje, abychom povodí charakterizovali jednoduchým srovnáním procentních podílů užité plochy pro zemědělství, vody, lesy, osídlení, resp. hustotu osídlení v porovnání s územní plochou celého Německa (BORCHARDT 2012), např. jako „řídce osídlená agrární krajina s malým počtem vodních toků na východě země“. Zvláštnosti vodního režimu povodí Labe daleko přesněji popíšeme, když vztáhneme průměrné roční odtoky ve výši 183 mm/a (MKOL 2005), které odpovídají množství potenciálních zásob vody ve výši 27,2 miliard m³/a, na plochu povodí (A_E). Pak například vyplyne průměrné množství odtoků podle $\bar{q} = 5,4 \text{ l/s/km}^2$ na vodočtu Neu Darchau (reprezentuje 89 % celého A_E). V porovnání s ostatními vodočty při ústích středoevropských řek se ukazuje, že Labe je jedním z povodí s nejnižšími odtoky ve střední Evropě.

Pokud se vztáhneme na kubický metr potenciálně využitelných zásob vody na jednoho obyvatele (E), tak z výsledku vyplývá, že – vedle Temže v Anglii – je Labe podle FALKENMARK & WIDSTRAND (1992) s roční průměrnou disponibilitou vody menší než 1.000 m³/E/a (Falkenmark-Index) charakterizováno jako „region s nedostatkem vody“ (daleko například před Rýnem, Dunajem, Ebro, Loirou nebo Rhonou). Podobné vyplyne pro mezinárodní

srovnání „indicií vodního stresu“ podle WWAP (World Water Assessment Programme 2009) (jako kvocient součtu čerpání vody k množství potenciálně využitelných zásob vody), v němž se pak zase A_E řeky Temže a Labe ve střední Evropě nacházejí co do „vodního stresu“ na předních místech.

Na jedné straně máme problém s touto bezpochyby objektivní kvantifikací „nedostatku vody“ a „vodního stresu“ ve střední Evropě. S tím jsou ale spojené jiné asociace. Na druhé straně se ukazuje omezená schopnost výpovědi oněch jednouchých a jednostranných indikátorů, které v souvislosti s problematikou vody nezohledňují např. společenský, ekonomický a jiný potenciál pro zvládnutí těchto deficitů.

Za zjednodušeného předpokladu, že stabilní dostupné zásoby vody tvoří v průměru asi polovinu oproti rychlým (nevyužitelným) objemům povodňových odtoků, vyplývá pro celé povodí, že potenciální zásoby vody jsou asi ve výši 13,6 miliard m^3/a . Z toho vyplývá další vodohospodářská zvláštnost povodí Labe, a sice velké (historicky se vyvinuvší) regulované zásoby vody ve výši 4,08 miliard m^3/ve 292 ve vodních přehradách (stav ke 31.12.2003 – MKOL 2005, str. 33). To odpovídá 29 % stabilních zásob vody. Tak vysoký podíl regulovaných zásob vody je patrně v Evropě opravdu něčím mimořádným. Množství nadregionálních dálkových vodovodních sítí a rozhodující zlepšení podmínek pro lodní dopravu na Labi byly a jsou výsledkem tohoto vysokého stupně regulace, popř. „vysokého stupně výstavby vodních děl“ (GRÜNEWALD 2001).

Lze tedy nakonec konstatovat, že zvláště německá část povodí Labe, která překrývá asi 27 % německého státního území (pro srovnání německá část Rýna je se svými asi 29 % jen o trochu větší), se vyznačuje mimořádně nízkými hodnotami dostupných zásob vody a jejich disponibilitou. To je zřejmé také při srovnání německých spolkových zemí a německých dílčích povodí: V celkově vodnatém Německu, které vykazuje průměrné roční odtoky ve výši 296 mm/a , se vodnaté spolkové země nacházejí především v Porýní a Podunají, a jsou to Bádensko-Württembersko (průměrná výše odtoků 472 mm/a) a Bavorsko (382 mm/a). Na rozdíl od nich je pak povodí Labe a v něm ležící spolkové země Braniborsko a Sasko-Anhaltsko (průměrné roční odtoky 88 mm/a a 93 mm/a) velmi chudé na vodu (Hydrologický atlas Německa, HAD 2003, zde uváděné referenční časové řady 1961 až 1990).

4 Shrnutí a výhled – Jediné, co v povodí Labe nadále zůstává, je stálá potřeba změn

V této souvislosti jsou to především ve 20. století provedená opatření pro zabezpečení zásobování vodou (m. j. výstavba vodních děl pro výrobu energie, lodní doprava, dodávky vody pro zavlažování v zemědělství a opatření pro ochranu před povodněmi i pro zamezení nízkých hladin vod), nekontrolovaná industrializace v aglomeracích a rozsáhlá těžba hnědého uhlí s hlubokými dopady, které vedly především v německé části krajiny Labe k závažným deficitům v udržitelnosti (WECHSUNG et al. 2005). Ty se však projevují prostorově i časově velmi rozdílně. Byly a jsou ovlivněny vedle rozdílných hydrologických, klimatologických a ekologických podmínek a dopadů především stávajícími podmínkami politickými, ekonomickými a sociálními. Například tím, že po politické a společenské změně v roce 1989 se

drasticky snížila spotřeba vody (s výjimkou situace v oblastech těžby hnědého uhlí), protože zanikla průmyslová odvětví s intenzivní spotřebou vody, zhroutilo se zemědělství využívající zavlažovací systémy, a došlo tak ke zmírnění vodohospodářského zatížení především v německé části Labe. V rámci stávající sítě spolupráce probíhající po dobu více než deseti let, kdy se intenzivně zpracovává interdisciplinární výzkumný projekt GLOWA-Elbe (Globální cirkulace vody v povodí Labe), se na základě příslušných dat a vědeckých podkladů vytvářejí modely (např. klimatologické, hydrologické, vodohospodářské, ekonomické), a ukazuje se, že tlak na využívání území, který v mezidobí polevil, se bude z důvodu snížení využitelných zásob vody v dopadu klimatické změny v oblasti Labe bude zase přirostávat (WECHSUNG 2012). Co se týče zajištění zásobování pitnou vodou, není třeba se v německé části povodí Labe obávat problémů. Avšak především v dílčích povodích Labe, čili v oblasti Sprévy, Bílého Halštrova (Schwarze Elster) a Havoly je třeba počítat se značnými deficity a riziky při zajišťování dodávek pitné vody pro nejrozličnější uživatele a účely („včetně potřeby vody pro ekosystémy, které tvoří základ pro lidské přežití“ (EUWID 2012)).

Avšak mimoto bude situace nedostatku vody v povodí Labe nastávat regionálně tam, kde nadřazené strategie – avšak nikoli odsouhlasené s cíly vodní politiky EU (EUWID 2012), (jako např. národní strategie pro výrobu energie a biomasy), povedou k oživení zavlažovacích metod apod. v zemědělství.

Z výzkumného projektu GLOWA pro povodí Labe lze vyvodit diferencovaná opatření pro obhospodařování vodního potenciálu s adaptací na klimatickou, resp. na globální změnu v Polabí. Celá řada momentálně zahájených výzkumných projektů, které financují nejrozličnější subjekty a instituce, zadávají pro nejbližší léta důvodný předpoklad pro to, že lze očekávat další metodická řešení, popř. analýzy scénářů, rizik a faktorů nejistoty.

Metodicky se východiska uplatňovaná v projektu GLOWA pro povodí Labe osvědčila jako věcně a problémově správná. Co by však mělo být v budoucnu ještě důležitější – vedle dalších srovnání různých postupů (viz EBNER VON ESCHENBACH & HOHENRAINER 2013) – je jednak zapojení regionálních aspektů, čili zaměření se např. na problémové regiony a problémová povodí. K tomu byla dne 29. listopadu 2012 v Drážďanech přednesena originální přednáška, kde pro 28 vybraných německých dílčích povodí Labe – v odsouhlasení s kanceláří Společenství Labe – byla prezentována dosavadní a budoucí regionální situace v oblasti disponibility vodních zdrojů a dostupnosti vodních zásob, která to explicitně dokládá. Na straně druhé je třeba z toho vyvodit další střízlivé a věcné adaptační strategie, popř. opatření, která budou ve svých řešeních přesahovat hranice povodí, spolkových zemí, sektorů a působnost stávajících aktérů.

Jen tak mohou pak politické rozhodovací orgány v oblasti vodní politiky dostát své povinnosti podniknout vše potřebné pro to, „aby pro budoucí generace byla zachována a dále utvářena intaktní kulturní a přírodní krajina“ (MKOL 2005, str. 254.).

Literatura

- BORCHARDT, D. (2012): Die Elbe im Wandel der Zeit: Wasserhaushalt und Klimawandel. In: Stadt, Land, Fluss – Moderne Wege der Wasser- und Abfallwirtschaft. Bundestagung der DWA am 26. und 27. September 2012 in Magdeburg. URL: <http://de.dwa.de/buta-vortraege-26092012.html> (Zugriff am 10.01.2013).
- BSMUG (2012): Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit: Die neue Wasserkunst der nachhaltigen Bewirtschaftung. Kongress Nachhaltigkeit in der Bayerischen Wasserwirtschaft. 11. und 12. Oktober 2012, Weißenstephan, 135 S., URL: http://www.wdl.wzw.tum.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Tagungsband_endgueltige_Version_02_10_2012.pdf (Zugriff am 10.01.2013).
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., HOHENRAINER, J. (2013): Wasserbewirtschaftung im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte und Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 65-82
- EUWID (2012): EU-Kommission stellt Konzept für Schutz der europäischen Gewässer vor – Umsetzung und Integration im Fokus/ Kaum neue EU-Gesetze vorgesehen. Jahrgang 15, 47. 20.11.2012.
- FALKENMARK, M., C. WIDSTRAND (1992): Population and Water Resources: A Delicate Balance (Population Bulletin), Population Reference Bureau, Washington D. C., USA.
- GRÜNEWALD, U. (2001): Wasserwirtschaftliche Planungen. In: Lecher, K., H.-P. Lühr, U. Zanke (Hrsg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 8. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, 1123-1163.
- GRÜNEWALD, U. (2003): Leitthema 1: Wasser in der Landschaft, In: Wasserforschung im Spannungsfeld zwischen Gegenwartsbewältigung und Zukunftssicherung. Denkschrift der Senatskommission für Wasserforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), WILEY-VCH, Weinheim, S. 14-36.
- GRÜNEWALD, U., O. BENS, H. FISCHER, R. F. J. HÜTTL, K. KAISER, A. KNIERIM (Hrsg.) (2012): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 299 S.
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. CD-ROM. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bonn.
- HÜTTL, R. F. J., O. BENS (Hrsg.) (2011): Georessource Wasser – Herausforderung globaler Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland (acatech STUDIE), Springer, Heidelberg, 262 S..
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Magdeburg. 258 S., URL: <http://www.ikse-mkol.org/index.php?id=210> (Zugriff am 10.01.2013)
- LOUCKS, D. P., E. VAN BEEK (2005): Water Resources Systems Planning and Management. UNESCO, 680 S.
- WECHSUNG, F., A. BECKER, P. GRÄFE (Hrsg.) (2005): Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Bd. 6: Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA Elbe). Weißensee Verlag Berlin.
- WECHSUNG, F. (2012): Veränderungen der Stadt-Land-Fluss Beziehung im Klimawandel – Ergebnisse einer Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe. In: Grünwald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttel, R.F.J., Kaiser, K., Knierim, A. (Hrsg.) (2012): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 109-126.
- WWAP (2009): The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World, World Water Assessment Programme, UNESCO, Paris, London: Earthscan.



Kontakt:

Prof. Dr. rer. nat. habil.

Uwe Grünewald

Brandenburgische Technische

Universität Cottbus

Professur Hydrologie und

Wasserwirtschaft

PF 101344

03013 Cottbus

Tel.: 0355/ 69 42 34

Fax: 0355/ 69 42 35

E-Mail:

Uwe.Gruenewald@tu-cottbus.de

nar. dne 8.června 1944 v Jeně

1964-1969

Studium hydrologie na Humboldtově univerzitě
v Berlíně a na Technické univerzitě (TU) v
Drážďanech

1969/71

Doktorandské studium na TU v Drážďanech

1971

Disertace na TU v Drážďanech

1971-1974

Vědecký asistent na katedře hydrologie a
meteorologie, fakulta vodohospodářských věd
TU Drážďany

1974-1979

Vědecký pracovník na Institutu vodního
hospodářství (IfW) v Erfurtu a v Berlíně

1978

Habilitace na TU Drážďany

1979

Jmenování řádným docentem v oboru hydrologie /
hospodářství vodních zdrojů, fakulta
vodohospodářských věd TU Drážďany

1992

Jmenování univerzitním profesorem pro hydrologii
a vodní hospodářství na TU Cottbus (Chotěbuz)

1.4.1993 - 30.9.2011

Činnost univerzitního profesora pro hydrologii a
vodní hospodářství na TU Cottbus (Chotěbuz),
dnešní Braniborská technická univerzita (BTU)

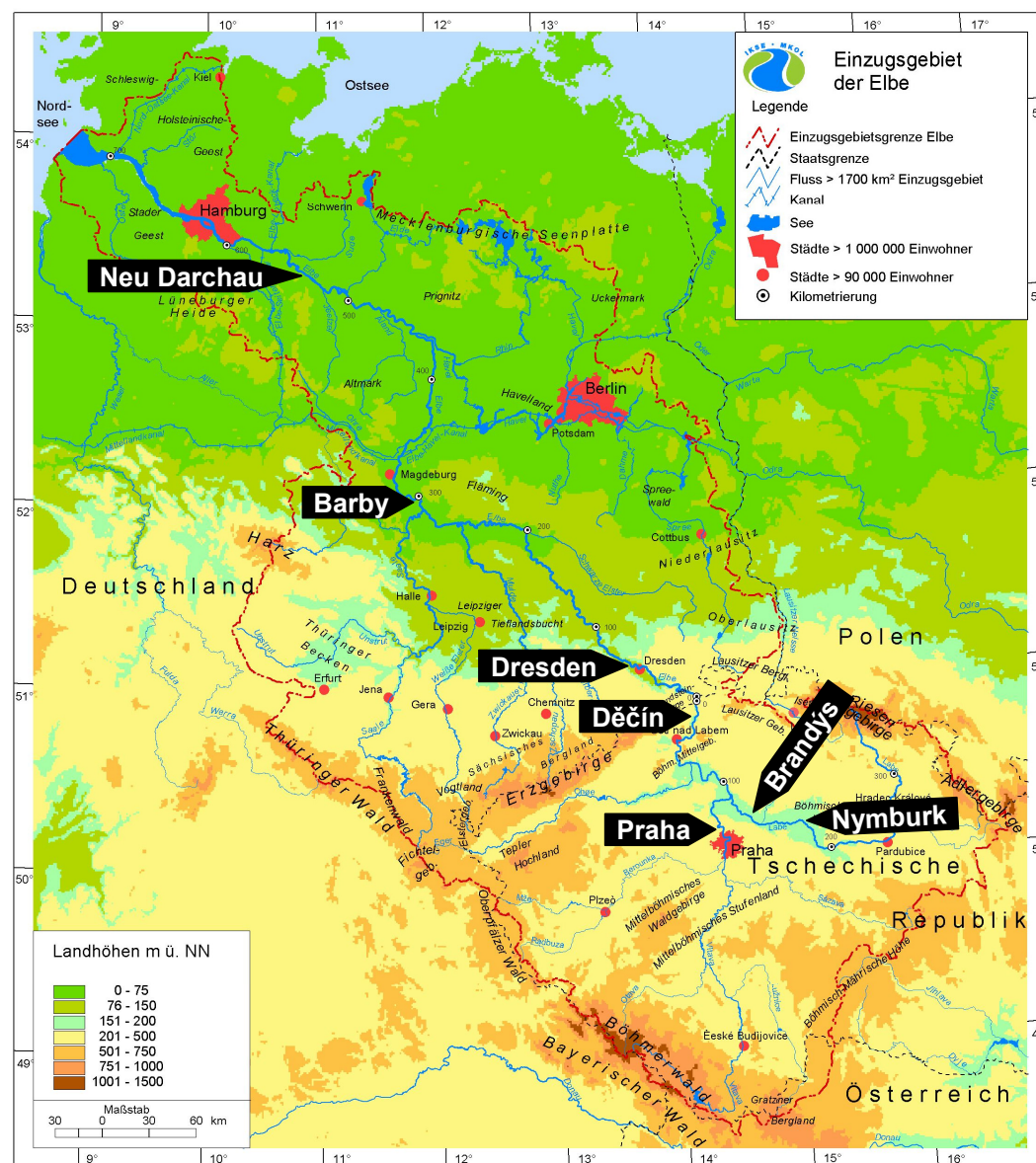
Od 1.10.2011

Hostujícím profesorem pro hydrologii a vodní
hospodářství na BTU

Změny odtokového režimu v povodí Labe ve 20. století: pozorování jako klíč k simulaci budoucnosti

Jörg Uwe Belz

1 Předmět a území výzkumu



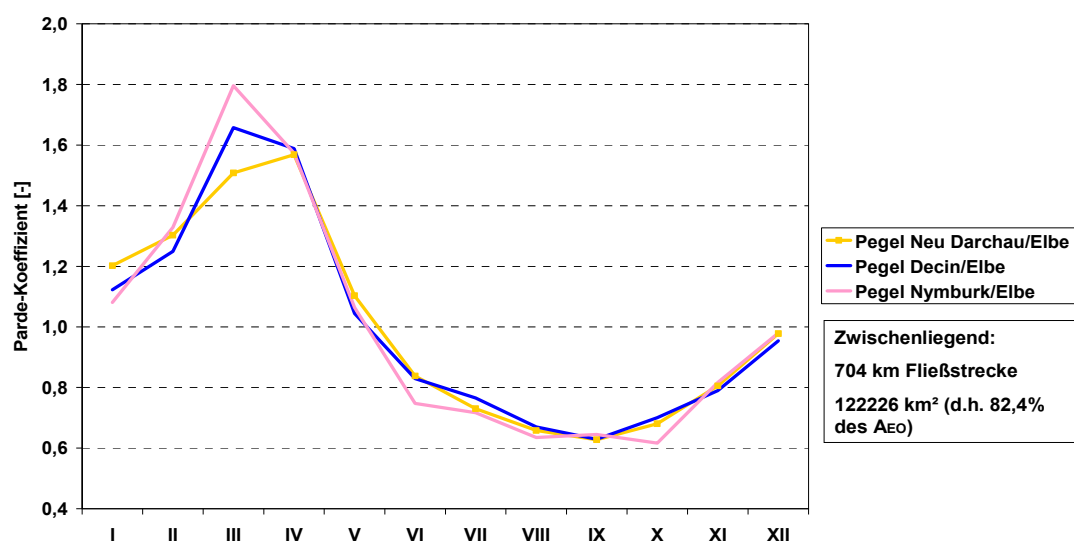
Obr. 1: Povodí Labe (MKOL 2005) a příslušné vodočetné stanice

Pojmem odtokový režim budeme v následujících řádcích popisovat celkové hydrologické poměry říčních odtoků se zvláštním zřetelem na mnohaletý průměrný meziroční odtok se svými charakteristickými výkyvy; zahrnuty budou vedle průměrných odtoků také příznačné tendence pro extrémní situace povodňových událostí nebo nízkých vodních stavů.

V krátkém přehledu, o který zde půjde, nelze přitom zobrazit všechny velké a malé toky v celém povodí Labe, které zaujímá plochu o velikosti 148.268 km². Místo toho bylo nutné omezit se na řadu reprezentativních profilů na řekách Labe a Vltava, jejichž poloha je zobrazena na obr. 1.

2 Odtokový režim Labe a jeho změny

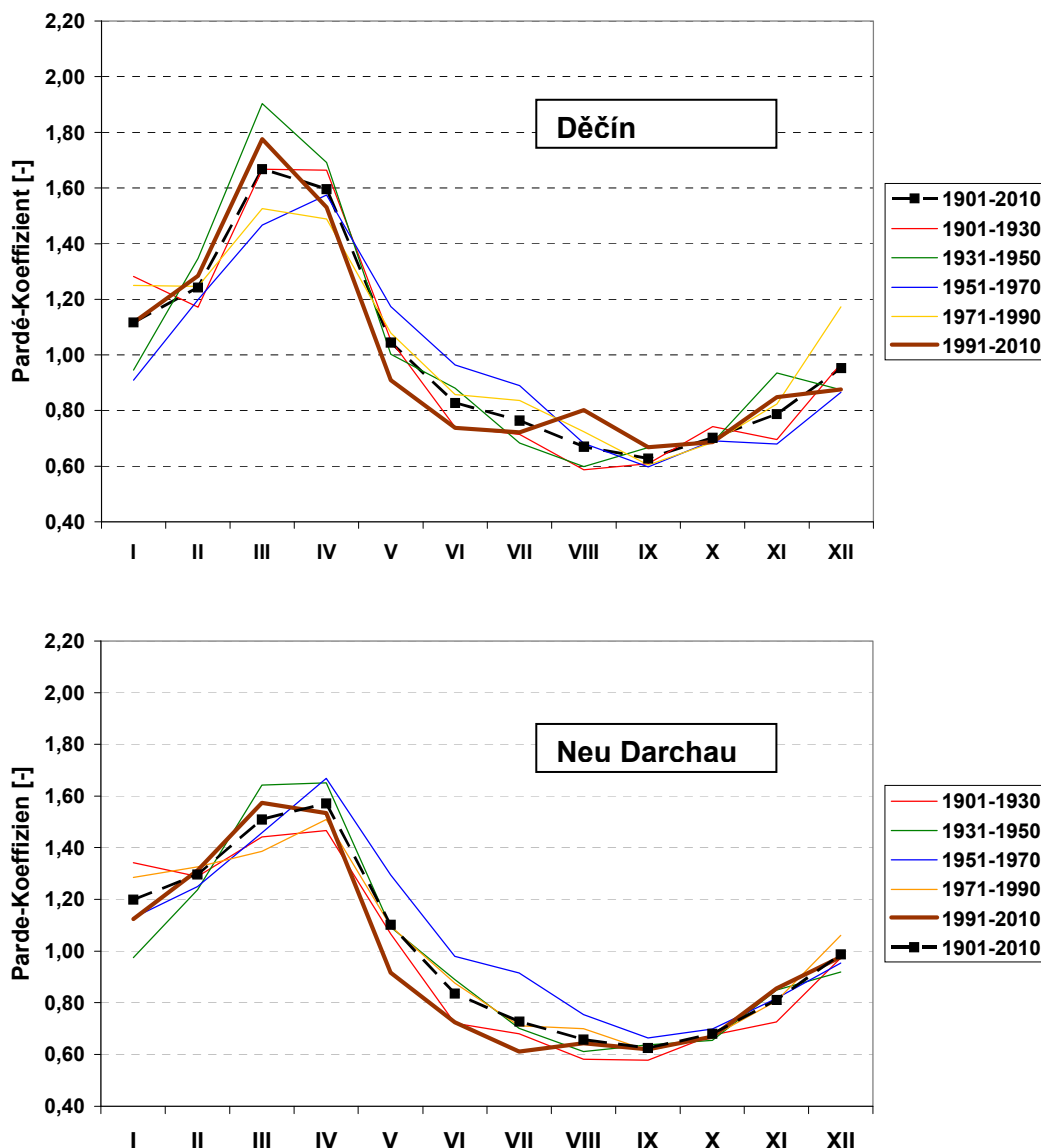
Roční celkový odtok Labe vykazuje typický průběh pluviálně ovlivněného odtokového režimu s maximy na jaře a s minimy v závěru léta a na podzim. Jak ukazuje obr. 2, vládne tady v podélném průřezu toku v podstatě jednotnost odtokových vlastností. Tato výpověď je platná pro celý tok s výjimkou pramenných oblastí a trychtýřovitého ústí řeky ovlivněného mořským přílivem a odlivem.



Obr. 2: Odtokový režim Labe na třech reprezentativních profilech. Metoda PARDE, období 1901(1931)-2010

Pro průzkum změn v odtokovém režimu, které nastaly od začátku 20. století, bylo celé období rozloženo do časových intervalů po dvou dekadách a pro ně byla konstruována příslušná linie průtoků s měsíčním koeficientem podle PARDE (1947) (obr. 3).

Nelze zde vysledovat žádný časově jednotný směr vývoje: Mírná harmonizace roční průtočnosti (snížení rozpětí), která se začala projevovat v 50. letech, se však v případě horního toku Labe (Děčín) projevila daleko výrazněji než v dolní části Středního Polabí (Neu Darchau), avšak v posledních letech už dál nepokračovala. Daleko více bylo období let 1991-2010 ovlivněno zvýšením odtoků na konci zimy a snížením odtoků v měsících duben až červenec; na horním toku Labe je mimoto nápadný výskyt sekundárního vrcholu v měsíci srpnu.

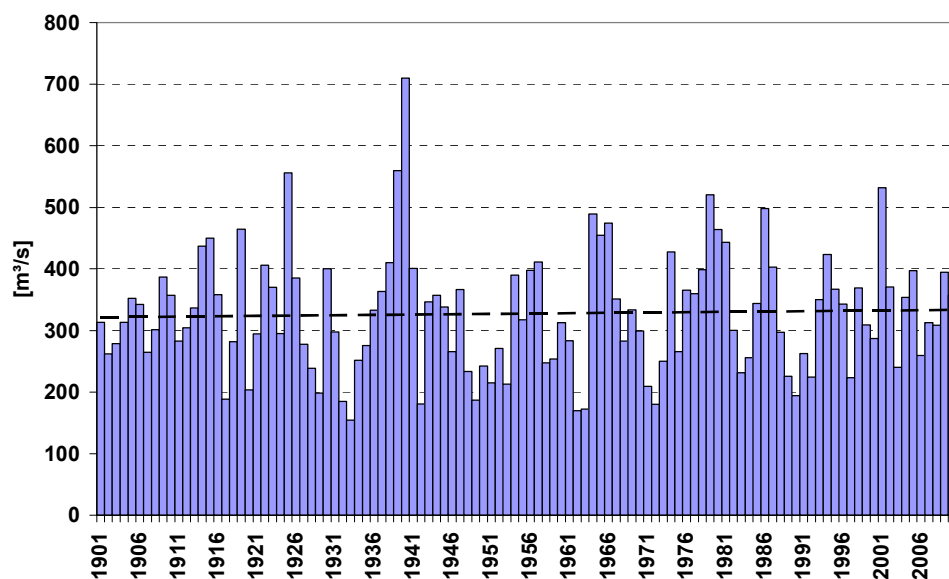


Obr. 3: Profil Labe v Děčíně (nahore) a Neu Darchau (dole): měsíční koeficienty odtoků (PARDÉ 1947) v sekulárním srovnání při diferenciaci v dvoudekádách

Variace měsíčních odtoků mají pouze sezónní distribuční charakter a nemají za následek změnu celkových ročních odtokových objemů: Obrázek 4 ukazuje marginální změny ročního MQ v řádu pouze 0,1 m³/s za rok (srovnání provedeno přes celé období).

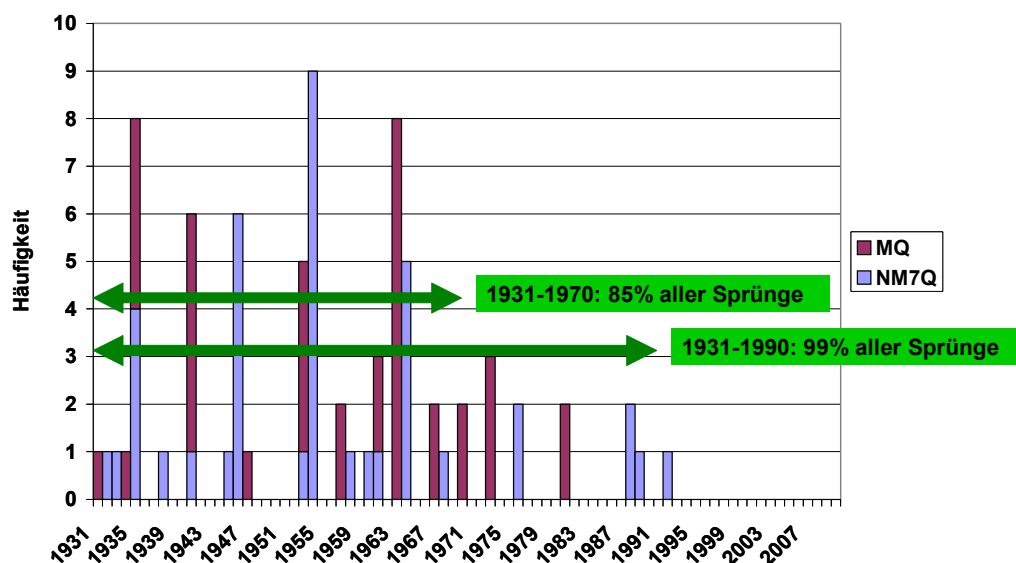
3 Skokově se vyskytující signály změn

Náhle se vyskytující, ale dlouhodobě působící změny, které případně odkazují na narušenou homogenitu časové řady, se označují jako skoky nebo body zlomu; takový bod zlomu dělí dva statisticky od sebe odlišitelné časové úseky. Skoky jsou v hydrologické analýze, prováděné pomocí časových řad, často dokladem antropogenních vlivů, např. v důsledku zprovoznění nové přehrady.



Obr. 4: Průměrné roční odtoky (MQj) na profilu Drážďany/Labe (období 1901-2010)

Výzkum ročních sérií, popř. řad MQ a NM7Q na profilech měřených průtoků v Nymburce, Brandýsu nad Labem, Praze, Děčíně, Drážďanech, Barby a Neu Darchau ukázal existenci velkého počtu takových skoků, které však ve většině případů stanovenou úroveň signifikance z 95 % nedosáhly. I když je třeba považovat především signifikantní skoky za analyticky relevantní, musíme přesto považovat i časové a prostorové koncentrace nesignifikantních výsledků za důležité signály. Obr. 5 ukazuje v této souvislosti výsledek průzkumu četnosti bodů zlomu ve shora uvedených datových souborech bez ohledu na případnou signifikanci: Podle toho se nachází největší koncentrace skoků v období mezi lety 1931 až 1970 (85 % všech důkazů); v rozšířeném období 1931 až 1990 zde bylo zaznamenáno 99 % všech identifikovaných bodů zlomu.



Obr. 5: Vybrané vodočetné řady MQ a NM7Q v povodí Labe (lokality viz na obr. 1): Koncentrace bodů zlomu (období 1931-2010, metody podle PETTITT (1979), popř. BAI & PERRON (1998))

4 Korigovaný vývoj: Trendy a tendence vybraných ukazatelů

Trendové analýzy mají generalizující charakter, který s přibývajícím délkou výzkumu ještě zesiluje. K získání přesného vhledu do stávající dynamiky změn se proto často doporučuje diferenciaci do smysluplně zvolených dílčích period, aniž by se výpovědní hodnota příliš úzkou segmentací úseků časových řad snížila. Na základě výsledků shora uvedených analýz vývojových skoků byl proveden na reprezentativních profilech Labe a Vltavy strukturovaný průzkum vývojových trendů pro období nebo dílčí období 1901/1931/1971/1991-2010, aby bylo možné získat nejen celkovou výpověď, nýbrž případně i krátkodobé modifikace případného vývoje.

Signifikanční vyrovnaný vývoj nelze tedy u ročních průměrů odtoků a ani v extrémních situacích ročně se vyskytujících povodní zpravidla doložit, a za nízkých vodních stavů (NM7Q) jej lze doložit jen málokdy (tabulka 1). Občas zjištěné tendence naznačující změnu, i když mají samy o sobě statisticky viděno jen marginální výpovědní hodnotu, korespondují přece jen s výsledky analýzy odtokového režimu provedené na základě koeficientů Pardé: Tabulka 1 vykazuje u návrhových povodní Q-extrém nárůst a u minimálních průtoků (většinou) tendenci k jejich další redukci. Tomu odpovídají výpovědi z textové části 2 (obr. 3), podle nichž se v poslední době silné odtoky v měsících koncem zimy a v předjaří zvyšují a odtoky na konci jara a na začátku léta se snižují.

Tabulka 1

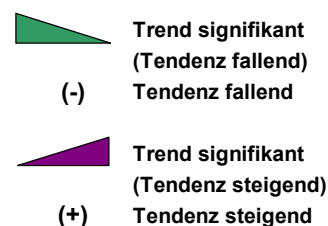
Segmentovaná trendová analýza ročních povodňových kulminací (Q), průměrných (MQ) a minimálních průtoků (NM7Q) na reprezentativních profilech na tocích Labe a Vltavy (metoda FQS, test signifikance podle Mann-Kendall, úroveň signifikance 95 %)

HQ(j) Trend (M-K 95%)

Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(+)
PRAHA (1931-2010)	Moldau		(-)	(+)	(+)
DECIN (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)

MQ(j) Trend (M-K 95%)

Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2010)	Elbe		(+)	(-)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2010)	Elbe		(+)	(-)	(-)
PRAHA (1931-2010)	Moldau		(-)	(+)	(+)
DECIN (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(+)	(-)	(-)	(+)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(-)	(+)	(+)



NM7Q(j) Trend (M-K 95% / autokorrelationsbereinigt)

Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2009)	Elbe		(+)	(-)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2009)	Elbe		(+)	(-)	(+)
PRAHA (1931-2009)	Moldau		(+)	(-)	(+)
DECIN (1901-2009)	Elbe		(+)	(-)	(-)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(-)	(-)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(-)	(-)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(-)	(-)

											Qm(I) MQ(m,I)		Qm(V) MQ(m,V)		Qm(VI) MQ(m,VI)							
Tok	Profil	Období	Qmin7d(R)	Qmin7d(Z)	Qmin7d(L)	Q355	Qr	Qzimní	Qletní													
Gewässer	Profil	Jahresreihe	NM7Q(J)	NM7Q(Wi)	NM7Q(So)	Q10	MQ(J)	MQ(Wi)	MQ(So)													
Labe	Jaroměř	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)		(+)		(-)	(-)		(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
Orlice	Týniště n. O.	1961-2005	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)
Labe	Němčice	1961-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)		(-)	(-)		(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
Labe	Přelouč	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)		(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
Labe	Přelouč	1931-2005	(+)		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)		(+)	(+)	(-)	0	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Labe	Nymburk	1961-2005	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Labe	Nymburk	1931-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)		(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)
Jizera	Tuřice - Předměstí	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)		(+)	(+)	(+)			(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)
Labe	Brandýs n. L.	1961-2005	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Labe	Brandýs n. L.	1931-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)		(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Vltava	Praha	1961-2005	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)		(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Labe	Mělník	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)			(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Labe	Mělník	1931-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)		(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Ohře	Louny	1961-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)		(+)	(-)
Labe	Ústí n. L.	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Ploučnice	Benešov n. P.	1961-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Labe	Děčín	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Labe	Děčín	1931-2005	(+)		(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)		(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	0	(-)	(-)	(+)
Labe / Elbe	státní hranice / Staatsgrenze																					
Elbe	Dresden	1961-2005	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)		(-)			(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Elbe	Dresden	1931-2005				(+)	(+)	(+)	(-)	(+)		(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)
Schw. Elster Löben 1974-2005			(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)		(+)	(-)		(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
Elbe	Wittenberg	1961-2005	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)		(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)
Mulde	Bad Dübén	1961-2005			(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)
Elbe	Aken	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Saale	Calbe-Grözehn	1961-2005	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)
Elbe	Barby	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Elbe	Barby	1931-2005	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)
Elbe	Magdeburg-Strombrücke	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)
Havel Rathenow 1961-2005			(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Havel Havelberg 1961-2005				(-)			(-)	(-)			(-)	(-)										
Elbe	Malliß	1970-2005		(+)			(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)			(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
Jeetzel	Lüchow	1967-2005	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Elbe	Neu Darchau	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)			(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)
Elbe	Neu Darchau	1931-2005	(+)		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Sude	Garlitz	1961-2005	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
Ilmenau	Bienenbüttel	1961-2005	(-)	(-)	(-)		(-)	(-)			(-)	(-)	(-)									(-)

Obr. 6: Povodí Labe: Trendová analýza průměrných a minimálních průtoků (MQ, NM7Q) podle let, pololetí a měsíců (FQS/Mann-Kendall) (podle: MKOL 2012)

Ve vybraných měsících a dílčích povodí Labe se však manifestují markantní změny v poměrech odtoků, zjišťované jako signifikantní trendy, především v odtokových řadách, popř. sériích pro průměrné nebo nízké vodní stavy. Jak dokládá obr. 6, omezují se zpravidla

- > jednak na jednotlivé měsíce (nárůsty především v lednu, částečně i v březnu, snižování v květnu a červnu,
- > a také na vybrané přítoky na německém území (především Černý Halštrov a Havola).

5 Variabilita a sezónnost

Také z otázky změn variability odtokových poměrů, která se zkoumala pomocí trendové analýzy průměrných absolutních odchylek (zde denní odtokové hodnoty na pozadí ročního průměru; postup viz SCHÖNWIESE 1992, str. 35), nevyplynuly žádné odpovědi se zřetelnými signály změn. Na stejných lokalitách profilů v analogické struktuře zkoumaných období nebylo možné zjistit žádné signifikantní trendy, tj. žádný zřetelný předěl mezi vypočítanou a přirozeně existující variabilitou (tabulka 2).

Tabulka 2

Labe a Vltava: variabilita odtoků, zjišťovaná pomocí segmentované trendové analýzy průměrné absolutní odchylky

Mittlere absolute Abweichung: Trend (M-K 95%)					
Pegel	Gewässer	1901-2010	1931-2010	1971-2010	1991-2010
NYMBURK (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(+)
BRANDYS+KOST (1931-2010)	Elbe		(+)	(+)	(-)
PRAHA (1931-2010)	Moldau		(-)	(+)	(+)
DECIN (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
DRESDEN (1901-2010)	Elbe	(-)	(+)	(+)	(+)
BARBY (1901-2010)	Elbe	(-)	(-)	(+)	(+)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Elbe	(+)	(+)	(+)	(+)

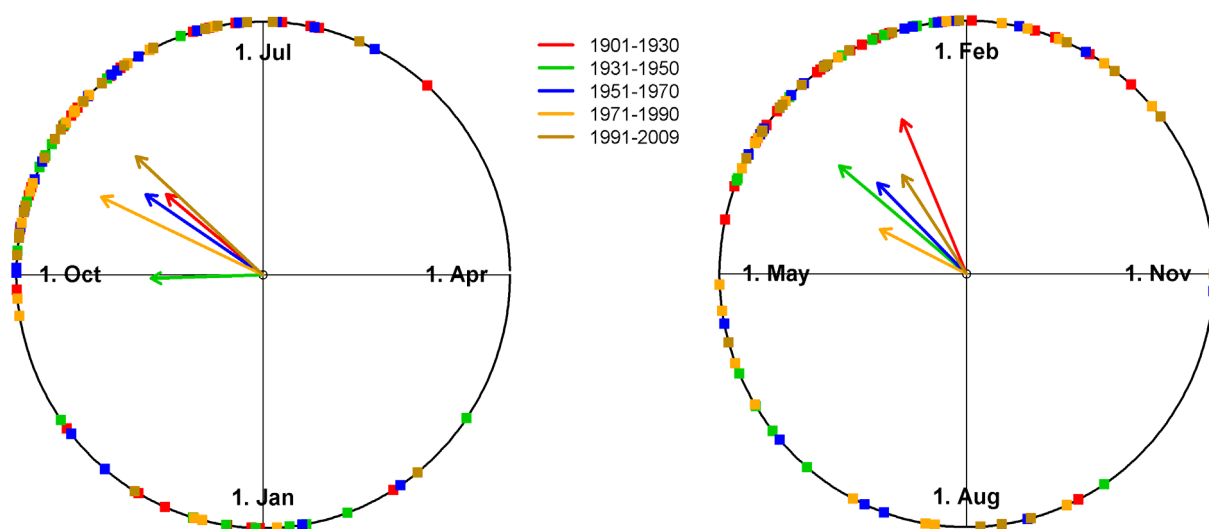
**(-) Tendenz fallend
Trend signifikant
(Tendenz fallend)**

**(+) Tendenz steigend
Trend signifikant
(Tendenz steigend)**

Index sezónnosti podle BURN (1994) dovoluje učinit výpověď o tom, kdy v kalendářním roce a s jakou pravděpodobností dojde k povodňové události nebo naopak extrémně klesnou hladiny vod. Ve výsledku obdržíme nejpravděpodobnější datum výskytu extrémní události s mírou stabilitnosti naznačující, že k této události skutečně v daný den v roce dojde.

Příslušné výpočty byly provedeny pro extrémní odtoková data sedmi reprezentativních profilů (viz nahoře). Výstupy byly v zásadě stejné, exemplárně doloženy jsou na výsledcích měření profilu v Děčíně (viz obr. 7).

Roční průběh zde je graficky zobrazen v kruhovém diagramu, zkoumaná dílčí období jsou barevně odlišena. Jednotlivé události, k nimž v rámci těchto dílčích období došlo, jsou vždy podle svého začátku zaneseny na kružnici. Vektory ukazují na základě svého cílového směru ke kružnici jednak nejpravděpodobnější, pro příslušné období vypočítané datum události NM7Q-extrém, příp. Q-extrém. A za druhé je délka vektoru indikátorem variability data události: nejvyšší pravděpodobnost události $p=1$ (tzn. událost by měla nastat s maximální spolehlivostí vždy ve stejný časový moment v roce), je reprezentována pomocí délky vektoru podle odpovídající plné vzdálenosti poloměru.



Obr. 7: Změna nejpravděpodobnějšího časového momentu výskytu extrémní události pro definovaná dílčí období od začátku 20. století na Labi, na příkladu profilu Dčín

V uvedeném případě typickém pro Labe je termínový vývoj indiferentní, čili v sekulárním srovnání neexistuje žádný přímý náznak toho, že vysoké nebo nízké extrémní odtoky lze očekávat podle nějakého pravidla vždy dříve nebo vždy později v roce. Zároveň se u parametru NM7Q projevuje vzhledem k výrazně vyšší návrhovosti (graficky je indikována pomocí delších vektorů), a to vždy k termínu výpočtu v srpnu nebo v září, sezónní posílení návaznosti na minimální průtoky. Na rozdíl od toho se nadále snižuje termínová návaznost povodňových extrémů v recentních obdobích, čili znamená to, že v poslední době se daleko více než dřív musí počítat s tím, že povodňová situace může nastat kdykoli v roce.

6 Problematika doprovodných vlastností

Při průzkumu důvodů pro zjištěný vývoj hrají svou roli přírodní podmínky, ale ve velkém měřítku jsou to také antropogenní vlivy. Podle MKOL (2012) nedošlo alespoň v posledních 50 letech (kromě zvyšujících se srážkových úhrnů v měsíci červenci zaznamenaných velkoplošně) k žádným markantním změnám ve srážkových úhrnech v povodí Labe; tato výpověď spočívá na detailních průzkumech měsíčních, půlročních a ročních průměrných hodnot. Nezávisle na stávajících procesech závislých na teplotách vzduchu, jsou odtokové poměry závislé samozřejmě hlavně na srážkách. V tom smyslu neudivuje výpověď uvedená v části 2, podle něhož na Labi nelze identifikovat žádné podstatné změny týkající se ročních zásob vod (nehledě na stávající efekty distribuce podle měsíců nebo ročních dob).

Tabulka 3

Body zlomu v sériích nebo v řadách minimálních, průměrných nebo kulminačních průtoků na reprezentativních profilech Labe a Vltavy (signifikanční výsledky jsou označeny barevně).
Výzkumné období 1901 popř. 1931-2010, použité metody PETTITT (1979) a BAI & PERRON (1998)

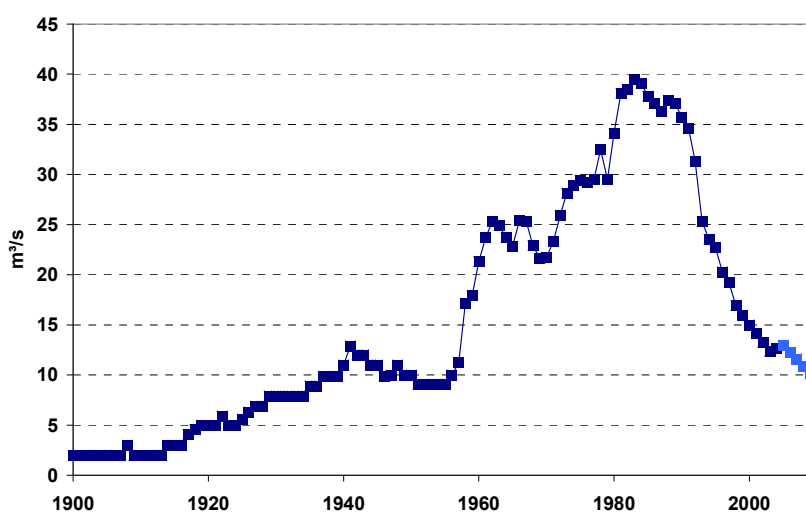
		NM7Q	MQ	HQ
		Year / sig. (95%)	Year / sig. (95%)	Year / sig. (95%)
NYMBURK (1931-2009/10)	Pettitt	1964 (n)	1963 (n)	1973 (n)
	BaiPer 1	1954 (n)	1935 (n)	1995 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1941 (n)	2005 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	1963 (n)	1947 (n)
	BaiPer 4	1989 (n)	1967 (n)	1935 (n)
	BaiPer 5	1976 (n)	1973 (n)	1953 (n)
BRANDYS+KOST (1931-2009/10)	Pettitt	1964 (n)	1963 (n)	1973 (n)
	BaiPer 1	1964 (n)	1963 (n)	1973 (n)
	BaiPer 2	1988 (n)	1967 (n)	1970 (n)
	BaiPer 3	1976 (n)	1947 (n)	1963 (n)
	BaiPer 4	1968 (n)	1935 (n)	1957 (n)
	BaiPer 5	1946 (n)	1941 (n)	1935 (n)
PRAHA (1931-2009/10)	Pettitt	1954 (y)	-	1957 (y)
	BaiPer 1	1954 (y)	1934 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1941 (n)	1973 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	-	1969 (n)
	BaiPer 4	1941 (n)	-	1980 (n)
	BaiPer 5	1960 (n)	-	1997 (n)
DECIN (1901-2009/10)	Pettitt	1954 (y)	1963 (n)	1957 (n)
	BaiPer 1	1954 (n)	1973 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1970 (n)	1973 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	1981 (n)	1970 (n)
	BaiPer 4	1933 (n)	1963 (n)	1963 (n)
	BaiPer 5	1908 (n)	1961 (n)	1981 (n)
DRESDEN (1901-2010)	Pettitt	1964 (y)	1963 (n)	1957 (n)
	BaiPer 1	1964 (y)	1973 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1970 (n)	1973 (n)
	BaiPer 3	1953 (n)	1981 (n)	1970 (n)
	BaiPer 4	1961 (n)	1963 (n)	1963 (n)
	BaiPer 5	1938 (n)	1961 (n)	1912 (n)
BARBY (1901-2010)	Pettitt	1954 (y)	1953 (n)	1957 (n)
	BaiPer 1	1954 (y)	1935 (n)	1957 (n)
	BaiPer 2	1946 (n)	1941 (n)	1963 (n)
	BaiPer 3	1935 (n)	1927 (n)	1952 (n)
	BaiPer 4	1932 (n)	1953 (n)	1947 (n)
	BaiPer 5	1958 (n)	1957 (n)	1944 (n)
NEU DARCHAU (1901-2010)	Pettitt	1954 (y)	1953 (n)	1973 (n)
	BaiPer 1	1954 (n)	1935 (n)	1997 (n)
	BaiPer 2	1988 (n)	1941 (n)	2005 (n)
	BaiPer 3	1945 (n)	1931 (n)	1988 (n)
	BaiPer 4	1938 (n)	1953 (n)	1985 (n)
	BaiPer 5	1992 (n)	1957 (n)	1982 (n)

Příčiny pro efekt distribuce odtoků na Labi v rámci jednoho roku (nezávisle na tom, zda se vyskytují v odtokových údajích v závislosti na příslušném časovém segmentu jako signifikantní trendy nebo pouze jako slabé vývojové tendence) lze hledat mimo jiné ve zřízení přehrad v povodí. Fáze největšího rozmachu výstavby nádrží v povodí Labe byla mezi lety 1950 a 1980; aktuálně vykazuje jejich retenční objem více než 4 mld. m³. Přitom takzvaná Vltavská kaskáda, čili řetěz nádrží na horním toku Vltavy před Prahou, má na odtokové poměry Vltavy a Labe prokazatelně silný vliv (mj. MKOL 2005, KOCH et al. 2010, HATZ & BUSCH 2013). Vedle signifikantně narůstajícího trendu extrémně nízkých odtoků na profilu

Děčín, čili za ústím Vltavy do Labe (viz tabulka 1), je třeba poukázat v této souvislosti na identifikované signifikantní skoky v sériích NM7Q, MQ a Q; v datových řadách tabulky č. 3: načasování těchto skoků dobře koresponduje s fází iterativního zprovoznování vltavských nádrží v době od poloviny 50. do poloviny 60. let 20. století.

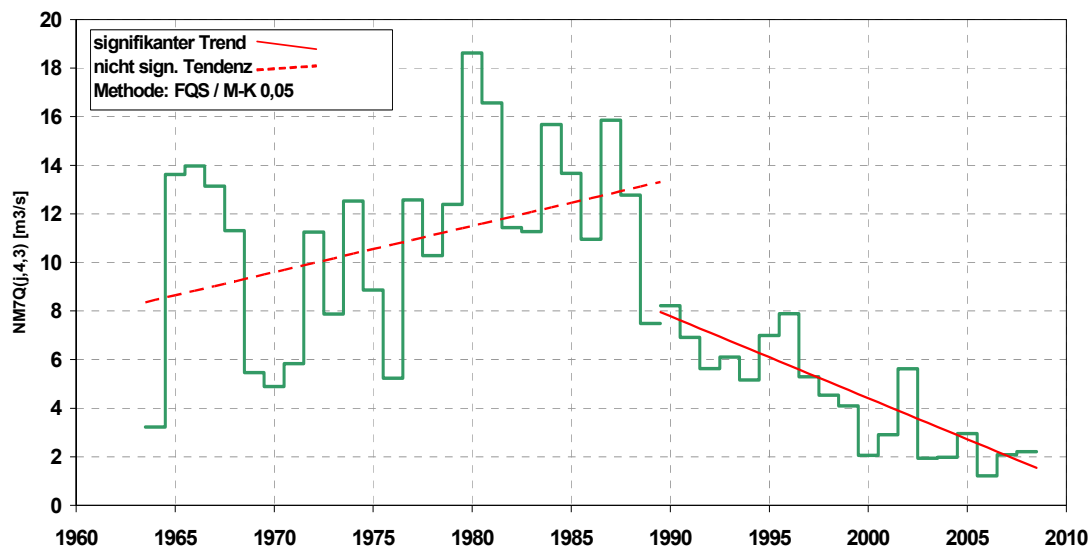
Zde je však třeba zmínit okolnost, že už samotná existence takových signifikantních bodů zlomu neznámá důkaz pro existující kauzální souvislost. Například je také z jiných německých toků známo (např. z Rýna, viz BELZ et al. 2007), že signifikantní skoky se vyskytují v časových řadách (často v situaci minimálních průtoků), aniž se zde jednoznačně podařilo prokázat vztah mezi příčinou a následkem.

Podobně to platí i pro antropogenní vliv na nakládání s vodami ve velkých hnědouhelných dolech v jižní části povodí. Na německém i na českém území existují rozsáhlé povrchové doly, které byly až do kulminace těžby v 80. letech 20. století kontinuálně rozšiřovány. Tehdy se ve velkém rozsahu čerpala na povrch podzemní voda a – pokud byla kvalitativně vhodná – byla odváděna do povrchových vod, což se případně pozitivně projevilo na dostupné zásoby vody. Po Německa byly však četné povrchové doly na německém území po r. 1989 uzavřeny a území rekultivováno. Pro koloběh vody to znamenalo, že jednak odpadly velké objemy dříve vypouštěných spodních vod a na druhé straně došlo ke ztrátám z důvodu jímání vody na zřizování zatopených zbytkových jam. Obr. 8 přibližuje vývoj objemů odčerpávaných důlních vod v povodí Sprévy a Halštrova.



Obr. 8: Objemy odčerpávaných vod z hnědouhelných dolů pro povodí Sprévy a Halštrova (zdroj Zemský ústav životního prostředí Braniborsko, od r. 2005 jsou hodnoty jen prognózované)

Z toho, že odpadly dotace vody na konci 80. let, se přirozeně vysvětluje vývoj zcela negativních trendů ve zkoumaných údajích nízkých a průměrných vodních stavů na Havole a Černém Halštrovu (obr. 6). Mimoto je jasné, že dotované objemy vody a jejich změny mají vliv na řeku Labe přinejmenším v obdobích nízkých hladin. Avšak pro samotný tok Labe nelze v momentální době předložit žádná statistická ověření či kvantifikace. Oproti tomu trendová analýza NM7Q na profilu Beeskov situovaném na Správě v hnědouhelné oblasti Lužice zřetelně kopíruje dynamiku čerpaných důlních vod (obr. 9).



Obr. 9: Profil Beeskow/Spréva: Roční hodnoty minimálních průtoků (NM7Q), rozlišené podle bodu zlomu, trendová analýza s bodem zlomu v r. 1989 (z: HORSTEN et al. 2011)

7 Shrnutí

Změny v odtokovém režimu povodí Labe se od začátku 20. století odvíjely především ve formě sezónních distribucí; celková dostupná zásoba vody zůstávala víceméně stabilní. Prokázat změny přesahující uvedené distribuce lze statisticky dobře pro jednotlivé přítoky, avšak jen zřídka to lze prokázat pro samotný tok Labe (a pokud vůbec, tak jen v situacích minimálních průtoků). Avšak v případě precizních kvantifikací a atribučních východisek pro vysvětlení identifikovaných jevů je klasická statistická analýza sama o sobě často nedostačující. Doplněk formou vhodných modelovacích nástrojů je pravděpodobně žádoucí nejen pro prognostiku, nýbrž i pro další propojení procesních struktur. Proto výzkumná pozorování jen sama o sobě nejsou klíčem k simulaci budoucnosti, nýbrž k pochopení systému lze dospět jen na základě harmonizace v rámci vědecké týmové spolupráce, která zahrnuje základní výzkum pracující s daty, empirickou analýzu a východiska na bázi modelovaných projekcí.

Literatura

- BAI, J., P. PERRON (1998): Estimating and testing linear models with multiple structural changes. In: *Econometrica* 66, S. 47-78.
- BELZ, J. U., G. BRAHMER, H. BUITEVELD, H. ENGEL, R. GRABHER, H. HODEL, P. KRAHE, R. LAMMERSSEN, M. LARINA, H.-G. MENDEL, A. MEUSER, G. MÜLLER, B. PLONKA, L. PFISTER, W. VAN VUUREN (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert - Analyse, Veränderungen, Trends. KHR-Bericht I-22, Koblenz & Lelystad.
- BURN, D. H. (1994): Hydrological effects of climatic change in west-central Canada. In: *Journal of Hydrology* 160, S. 53-70.
- HATZ, M., N. BUSCH (2013): Beeinflussung von Hochwassern der Elbe durch den Betrieb von Talsperren in Tschechien und Thüringen. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 90-95

- HORSTEN, T., P. KRAHE, E. NILSON, J. U. BELZ, A.-D. EBNER VON ESCHENBACH, M. LARINA (2011): Auswirkungen des Klimawandels an der Elbe. In: BMVBS: KLIWAS-Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. 2. Statuskonferenz, Berlin, S. 93-97.
- IKSE - Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Magdeburg.
- IKSE - Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2012): Hydrologische Niedrigwasserkenngößen der Elbe und bedeutender Nebenflüsse. Magdeburg.
- KENDALL, M. G. (1970): Rank correlation methods. 4th edition, London.
- KOCH, H., F. WECHSUNG, U. GRÜNEWALD (2010): Analyse jüngerer Niedrigwasserabflüsse im tschechischen Einzugsgebiet. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 54, H. 3, S. 169-178.
- PETTITT, A. N. (1979): A non-parametric approach to the change point problem. Journal of the Royal Statistic Society Series C, Applied Statistics, 28, pp 126-135.
- PARDE, M. (1947/1964): Fleuves et Rivières. Colin, Paris, 224. S.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1992): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 2. Aufl., Berlin, Stuttgart.

Kontakt:

Jörg Uwe Belz

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5428

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: belz@bafg.de

Klimatické scénáře pro Českou republiku

Jan Pretel

1 Úvod

V ČR byl v letech 2007-2011 řešen projekt SP/1a6/108/07, který vypsalo Ministerstvo životního prostředí na podporu základního i aplikovaného výzkumu v oblasti klimatické změny. Projekt byl koordinován Českým hydrometeorologickým ústavem a na jeho řešení se dále podílely Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Centrum výzkumu globální změny AV ČR a Výzkumný ústav rostlinné výroby.

Projekt byl v první kroku zaměřen na analýzu vývoje základních indikátorů klimatické změny (teplota a srážky) na území ČR v období 1961-2010 a paralelně na zpřesnění a aktualizaci scénářů pravděpodobného regionálního vývoje klimatu v krátkodobém (2010-2039), střednědobém (2040-2069) a dlouhodobém (2070-2099) výhledu, včetně analýz nejistot výsledků odhadů s ohledem na nejistotu vstupů a dalších parametrů. Následně byly výsledky scénářů použity pro odhady pravděpodobných dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci, odhady dalšího vývoje průměrných a minimálních průtoků, výskytu suchých období, resp. změn povodňového režimu, aj.. Kromě využití pro hydrologické účely byly scénáře použity i pro práce v sektorech zemědělství a lesnictví. Analýzy vývoje v posledních padesáti letech spolu s výsledky modelových odhadů byly v závěrečné fázi projektu použity i pro návrhy skupin vhodných typů adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství, zemědělství a lesního hospodářství, které byly v některých případech doprovázeny i pilotními cost-benefit analýzami jejich pravděpodobné účinnosti (PRETEL et al. 2011). Výsledky projektu budou státní správou postupně využívány pro přípravu národních strategických dokumentů v oblasti ochrany klimatu.

2 Zpřesnění a aktualizace scénářů

Základ scénáře změny klimatu pro území ČR tvoří výstupy regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ (FARDA et al. 2010) v rozlišení 25 km pro období 1961-2100, opravené o chyby modelu, které byly identifikovány při porovnávání modelové simulace pro referenční období s naměřenými hodnotami. Jako základní prvky pro scénář byly vybrány průměrná denní teplota vzduchu, denní úhrn srážek, denní suma globálního záření, průměrná denní rychlost větru a relativní vlhkost vzduchu. Výběr prvků vyplýval z požadavků sektorů zabývajících se odhady dopadů a z dostupnosti výstupů regionálních

klimatických modelů. Z denních hodnot byly pomocí programu ProClimDB (ŠTĚPÁNEK & ZAHRADNÍČEK 2008) vypočítány další charakteristiky, vyjadřujících mj. i extrémní rysy klimatu, např. počty dnů s limitními teplotami (letní, tropické mrazové a ledové dny) či počty dnů s limitními srážkovými úhrny, apod. Pro modelové odhady očekávaných změn v krátkodobém časovém horizontu byl použit emisní scénář IPCC SRES A1B, pro střednědobý a dlouhodobý časový horizonty rovněž scénáře IPCC SRES B1 a A2.

2.1 Validace modelu

Výstupy modelu pro referenční období v časovém rozlišení 6 hodin byly nejprve konvertovány na denní data. Vypočteny byly denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu, denní úhrny srážek, denní průměrná relativní vlhkost vzduchu a denní suma globálního záření. Následně byla na základě porovnání se soubory naměřených staničních dat převedených do pravidelné sítě modelu ALADIN-CLIMATE/CZ provedena validace získaných polí.

Odchyly simulovaných sezónních průměrů teploty vzduchu od pozorování v referenčním období se v létě a v zimě na většině území pohybují do 1°C, ale na jaře a na podzim je model podstatně chladnější než pozorování (např. na jaře ojediněle i o více než 3°C). Při modelování vývoje atmosférických srážek použitý model ve všech ročních obdobích pozorované srážkové úhrny v referenčním období v průměru nadhodnocuje (podobně se chovají i další regionální a globální klimatické modely), v zimě a na jaře místy až o 30-40 %. Tento poznatek však neplatí pro celé území, neboť existují oblasti, kde jsou modelové srážky naopak podhodnoceny, a to zejména v zimě a na podzim. Velké odchyly od pozorování vykazuje zejména vlhkost vzduchu, kterou model na většině území nadhodnocuje, místy až o 30 %. U globálního záření model nadhodnocuje hodnoty v letním a spíše podhodnocuje v zimním období. Rychlost větru má model tendenci v létě spíše podhodnocovat, v zimě spíše pozorované hodnoty nadhodnocovat.

Tabulka 1

Korigované (T_c , R_c) a nekorigované (T_s , R_s) sezónní průměry modelových výstupů teplot (T) a srážek (R) v porovnání s měřenými hodnotami (T_{obs} , R_{obs}) v referenčním období 1961-1990 a jejich změny vůči referenčnímu období (DT_c , DR_c , resp. DT_s , DR_s) pro tři vybrané budoucí časové horizonty.

	1961-1990		2010-2039		2040-2069		2070-2099	
Teplota								
	T_c-T_{obs}	T_s-T_{obs}	DT_c	DT_s	DT_c	DT_s	DT_c	DT_s
DJF	-0,04	-0,06	1,14	0,90	1,76	1,44	2,83	2,29
MAM	-0,04	-2,26	1,16	0,98	2,59	2,12	3,54	2,87
JJA	-0,03	0,03	1,09	0,90	2,68	2,32	3,96	3,47
SON	-0,01	-1,02	1,16	1,23	1,92	2,04	2,83	3,04
Srážky								
	R_c/R_{obs}	R_s/R_{obs}	DR_c	DR_s	DR_c	DR_s	DR_c	DR_s
DJF	0,99	1,32	0,92	0,91	0,91	0,88	0,96	0,94
MAM	0,98	1,33	1,12	1,10	1,00	0,98	1,10	1,07
JJA	0,99	1,07	1,03	1,01	0,99	0,96	0,88	0,86
SON	0,99	1,10	1,08	1,04	1,18	1,13	1,12	1,06

T – rozdíl hodnot vůči referenčnímu období, R – podíl hodnot vůči referenčnímu období
zima – DJF, jaro – MAM, léto – JJA, podzim – SON

2.2 Postprocessing výstupů modelu

Jelikož se při validaci modelu ALADIN-CLIMATE/CZ objevily v simulacích sledovaných klimatických prvků systematické chyby, bylo pro odhady dopadů doporučeno výstupy modelu pro budoucí klima buď použít relativně (tj. u teploty vzduchu pracovat s rozdíly, u dalších prvků s podíly průměrných hodnot pro nové a referenční období) nebo použít data, která prošla tzv. postprocessingem (tj. aplikací statistických korektivních funkcí).

Vzhledem k malým rozdílům výsledků různých metod postprocessingu v porovnání s dalšími neurčitostmi byla použita kvantilová metoda, kdy pro každý klimatický prvek, den a gridový bod byly zkonstruovány kvantilové funkce měřených a simulovaných hodnot v referenčním období. Porovnáním hodnot odpovídajících si kvantilů pak byly vypočteny korekce, které byly následně aplikovány na období popisující budoucí klima. Představu o chybách modelu a vlivu korekcí dokresluje pro jednotlivé sezóny roku u teplot a srážek Tabulka 1.

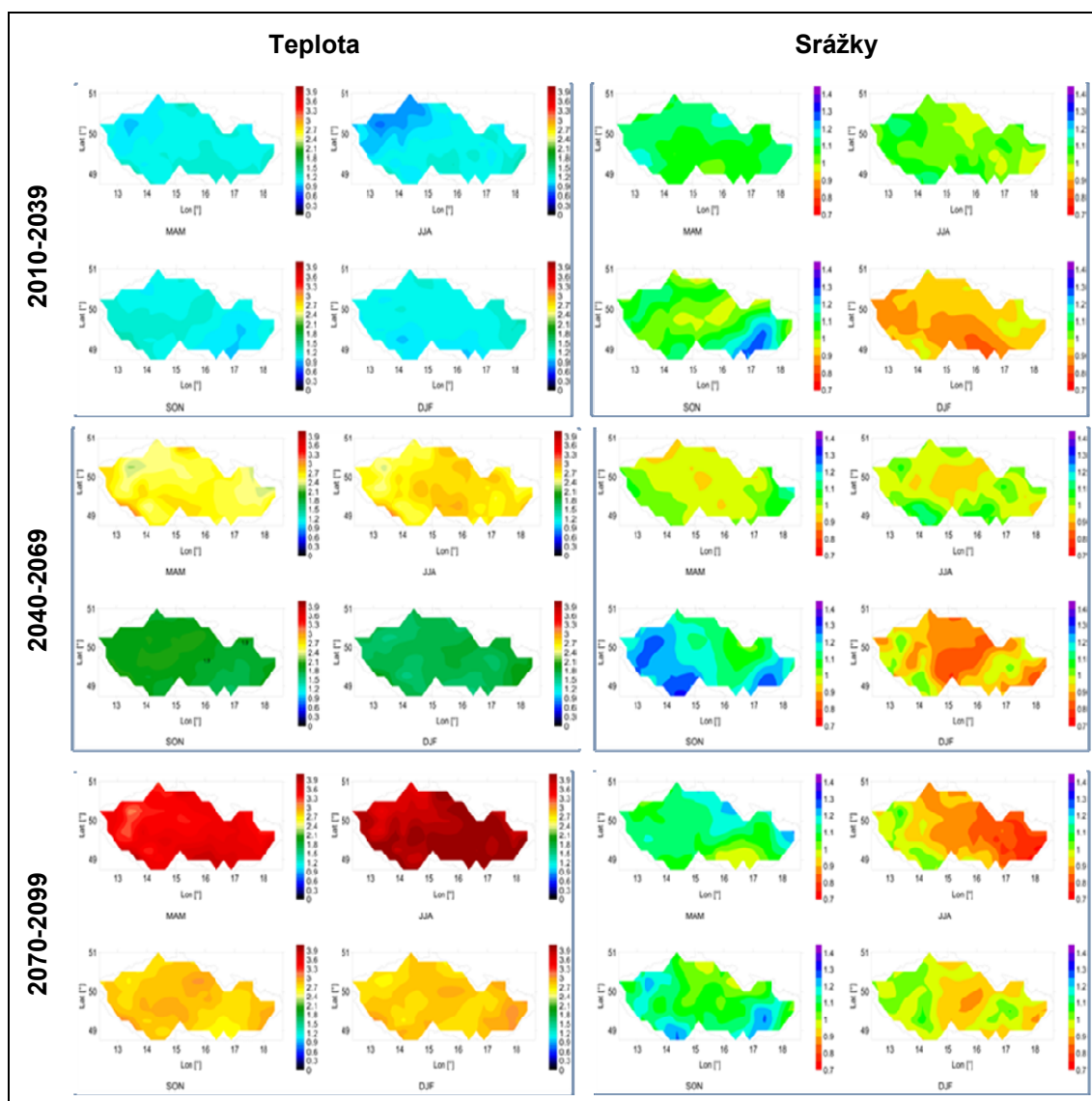
2.3 Scénář krátkodobého výhledu (2010-2039)

Tento scénář je vztažen pouze ke scénáři emisí SRES A1B, neboť pro takto blízké období lze předpokládat mezi jednotlivými scénáři SRES pouze nevýznamné rozdíly. V krátkodobém výhledu se průměrná roční teplota vzduchu na území České republiky zvýší cca o 1°C, oteplení v létě a zimě je jen o něco menší než na jaře a na podzim. Patrné je systematické zvýšení teplot relativně málo proměnlivé v prostoru. U změn sezónních úhrnů srážek je situace složitější. Ve většině uzlových bodů je v zimě simulován pokles budoucích srážek (v závislosti na konkrétní lokalitě do 20 %), na jaře jejich zvýšení (od 2 do cca 16 %), v létě a zejména na podzim se situace na různých částech sledovaného území liší. Např. na podzim najdeme na několika místech slabý pokles o několik procent, jinde zvýšení až o 20-26 %, v létě převládá slabý pokles, ale např. v západních Čechách naopak zvýšení až o 10 %, apod. Poměrně výrazná prostorová proměnlivost změn srážkového režimu znamená, že případný klimatický signál může být v tomto období překryt projevy přirozených meziročních fluktuací srážkových úhrnů (Obr. 1).

Vzhledem ke slabému signálu očekávaných změn relativní vlhkosti a v neposlední řadě i skutečnosti, že naměřené hodnoty relativní vlhkosti se v období 1961-2000 neměnily, bylo doporučeno, aby při odhadech dopadů pro toto období bylo pracováno s měřenými hodnotami relativní vlhkosti z referenčního období. Simulované změny sezónních průměrů denních sum globálního záření jsou největší v zimě (až o více než 10 %), v ostatních sezónách se na většině míst pohybují do 4 %, nicméně ve srovnání s chybami modelu jsou změny globálního záření dopadajícího na zemský povrch malé. Pro aplikační práce s těmito soubory platí stejné doporučení, jako v případě relativní vlhkosti.

2.4 Scénáře střednědobého (2040-2069) a dlouhodobého (2070-2099) výhledu

Pro střednědobý výhled je simulované oteplení již výraznější, nejvíce se zvýší teploty vzduchu v létě (o 2,7°C), nejméně v zimě (o 1,8°C). Za zmínku stojí zvýšení teplot v srpnu o téměř 3,9°C. V jednotlivých gridových bodech se hodnoty změn mohou na jaře a v létě pohybovat v rozmezí 2,3°C až 3,2°C, na podzim od 1,7°C do 2,1°C a v zimě od 1,5°C do 2,0°C. V dlouhodobém výhledu dosahuje letní zvýšení teploty zhruba 4°C (3,5 až 4,7°C), na podzim a v zimě je zvýšení teploty nižší, a to 2,8°C (2,6 až 3,1°C).



Obr. 2: Rozdíly průměrných denních teplot (°C) a podíly sezónních srážek vypočítaných z korigovaných dat modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pro období 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099 vzhledem k referenčnímu období 1961-1990 během zimy (DJF), jara (MAM), léta (JJA) a podzimu (SON)

Ve střednědobém výhledu jsou již patrné zimní poklesy srážek (např. Krkonoše, Českomoravská Vysočina, Beskydy až o 20 %) a jejich navýšení na podzim. V létě začíná dominovat pokles srážek, který v dlouhodobém horizontu bude ještě výraznější, zatímco pokles zimních úhrnů srážek bude oproti předchozímu období menší (Obr. 1). Změny relativní vlhkosti jsou malé, nicméně model pro všechny sezóny i časové horizonty signalizuje poklesy – v zimě do 5 %, v létě 5-10 % a pro závěr 21. století pak na některých místech až 15 % (část středních Čech, Vysočina). Tento poznatek je v souladu s předpokládaným zvýšením teploty vzduchu a snížením srážkových úhrnů.

Uvedené výsledky se vztahují k emisnímu scénáři SRES A1B, nicméně projekt se pro tato dvě průřezová období zabýval i simulacemi dle emisních scénářů SRES B1 a A2 (PRETEL et al. 2011).

3 Závěr a poznámky ke spolehlivosti regionálního scénáře

Nejistoty scénářových modelových simulací, provedených v rámci projektu, spočívají v zásadě ve třech zdrojích – (a) nejistota emisního scénáře, (b) nejistota řídicího globálního modelu a (c) nejistota vnořeného regionálního modelu. Simulace pomocí modelu ALADIN-CLIMATE/CZ byly prováděny pro scénář emisí SRES A1B, který je považovaný za jeden ze středních scénářů. V modelových výstupech se navíc rozdíly mezi scénáři pro krátkodobý časový horizont a do značné míry i střednědobý horizont příliš neprojevují, závislost na emisním scénáři je patrná až pro horizont dlouhodobý, a to prakticky jen v teplotách (největší změny z posuzovaných scénářů pro A2, menší pro A1B a nejmenší pro B2). U změn srážek se patrnější závislost na emisním scénáři neprojevuje.

Rozptyl změn mezi jednotlivými regionálními klimatickými modely, podobně jako mezi jednotlivými globálními klimatickými modely, se s rostoucím časovým výhledem postupně zvyšuje. Analýzy ukázaly, že globální modely vnášejí do scénářů zpravidla větší nejistotu než navazující modely regionální.

Ve srovnání s dalšími regionálními modely pro scénář A1B lze konstatovat, že výsledky aplikací modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pro odhad klimatické změny v krátkodobém časovém výhledu z kontextu ostatních regionálních modelů zásadně nevybočuje. Výsledky aplikace pro střednědobý a dlouhodobý výhled se však zejména v zimním období od charakteristik ostatních modelů odlišuje více. Dává systematicky menší vzestup teplot, spíše pokles srážek a nárůst globálního záření, což zcela nezapadá do kontextu ostatních modelů. Příčinou může být v porovnání s ostatními regionálními modely vyšší simulovaná anticyklonalita v zimním období. Proto scénáře modelu pro zimní období vykazují v porovnání s ostatními ročními obdobími větší nejistotu.

S ohledem na uvedené nejistoty a jejich příčiny se zdá, že pro praktické využití výsledků simulací dopadů klimatické změny je zřetelně vhodnější provádět modelové odhady budoucího vývoje pro relativně kratší období (20 až 30 let) a postupně je zpřesňovat. Nové simulace se tak budou moci opřít o aktuálnější a realističtější emisní scénáře a o kvalitnější globální i regionální modely. To může pro praktické aplikace výsledků simulací na druhou polovinu 21. století míru stávajících nejistot jenom snížit.

Poděkování

Příspěvek byl realizován s podporou projektu Technologické agentury ČR TA 02020320 "Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu".

Literatur

- FARDA, A., M. DÉUÉ, S. SOMOT, A. HORÁNYI, V. SPIRIDONOV, H. TÓTH (2010): Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54, 313-332.
- PRETEL, J. et al. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V), Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07, ČHMÚ, Praha
(http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_10_Zmena_klimatu/P4_1_10_6_Projekt_VaV&last=false)

ŠTĚPÁNEK, P., P. ZAHRADNÍČEK (2008): Experiences with quality control and homogenization of daily series of various meteorological elements in the Czech Republic, 1961-2007. In: Proceedings of the Sixth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, 25. - 30. May 2008), WCDMP, WMO.



Kontakt:

Jan Pretel

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
CZ-143 06 Praha 4
Tel.: +420 24306 2414
Fax: +420 24306 2415
E-Mail: pretel@chmi.cz

1960-1966

Studium meteorologie a klimatologie na Karlově
universitě v Praze

1967-1990

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, vědecký
pracovník

1990-1991

University of British Columbia, Dept. of
Geography, B.C., Canada, visiting scientist

1991-1993

Ministerstvo životního prostředí ČR, specialista
ochrany ovzduší

od 1993

Český hydrometeorologický ústav, vedoucí
oddělení klimatické změny, od r. 2012 vědecký
tajemník

Významné projekty/aktivity:

- 1991-1997: EU/WMO/IAEA Projekt „*European Tracer Experiment (ETEX)*“, člen mezinárodního řídicího výboru
- 1997-2001: člen Byra IPCC (*IPCC TAR*)
- 1999-2000: PHARE Project “*Estimate of the Economic Cost for the Reduction of GHG Emissions*”, Project Manager
- 2001-2005: MŽP Projekt „*Národní program na snížení dopadů klimatické změny v ČR*“, Project Manager
- 2007-2011: MŽP Projekt „*Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření*“, Project Manager

Hydrometeorologická referenční data a projekce změn klimatu zpracované pro hydrologické modelování

Ulf Riediger, Sabrina Plagemann, Florian Imbery, Monika Rauthe,
Joachim Namyslo a Annegret Gratzki

1 Úvod

V rámci výzkumného projektu KLIWAS – Dopady klimatické změny na vodní cesty a lodní dopravu – se pořizují v rámci záměru 1 „Validace a hodnocení projekcí změn klimatu – poskytnutí klimatických scénářů pro oblast lodní dopravy a vodních cest“, základní data pro prokazatelné vyhodnocování klimatické změny a jejího vlivu na povrchové vody. Ten obsahuje jak meteorologická referenční data na základě naměřených hodnot, tak i prověření a pořízení modelových klimatických výpočtů pro různé klimatické scénáře.

Pro kvantifikaci statistických nepřesností modelovaných výsledků budou provedena srovnání projekcí změn klimatu mezi různými modely a jejich vyhodnocení. Navíc bude nutné provést různá speciální vyhodnocení dat s ohledem na prokazatelnou kvantifikaci působení klimatu na oblast vod. Rozšíření stávajících produktů Německé meteorologické služby (DWD) pokryjí potřebu správ povodí v působnosti Spolkového ministerstva dopravy, stavebnictví a rozvoj měst s ohledem na možné následky klimatické změny pro lodní dopravu a povodí.

2 Cíle

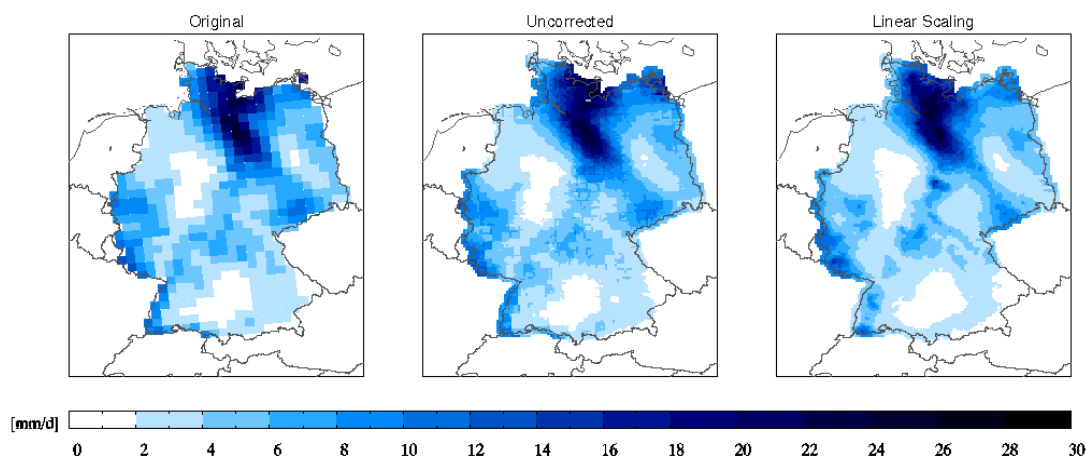
- > Pořízení vhodných rastrových datových souborů na základě sledovaných dat pro kompletní povodí Rýna, Labe a Horního Dunaje včetně příslušných dílčích povodí ležících v zahraničí za účelem validace klimatických modelů
- > Analýza dosud sledované klimatické změny v hydrologických povodích
- > Zkontrolovat, verifikovat a definovat pásmo chybovosti pro použité regionální klimatické simulace s použitím srovnání modelových výsledků s referenčními daty v kontrolním období
- > Analýza a zobrazení okruhu nepřesností v projekcích změn klimatu a z toho odvozených signálů změn klimatu

3 Realizace

Prokazatelné výpovědi o rozsahu očekávaných změn klimatu a požadované analýzy vulnerability je možné provést jen na základě jasně definovaných referenčních dat. Velká část naměřených dat potřebných pro referenční datové soubory byla získána od meteorologických služeb sousedních zemí. Pro Německo se používají data z klimatického archivu Německé meteorologické služby (DWD).

Cílem je vytvoření hydroklimatických rastrových dat na základě denního měření ve vysokém prostorovém rozlišení, která obsahují kontrolu kvality dat (např. odlehlé hodnoty, homogenitu) a zjišťování chybovosti regionalizovaných souborů dat (RAUTHE et al. 2013). Pro tuzemskou oblast zkoumaných území v projektu KLIWAS jsou k dispozici regionalizované soubory denních měřených dat (HYRAS- Hydrologicky relevantní rastrové datové soubory) pro srážky, teplotu vzduchu, relativní vlhkost a globální záření. Klimatologické vyhodnocování hydrologicky relevantních ukazatelů (např. průměrné hodnoty, meziroční variabilita, počet bezsrážkových dní nebo událostí s přívalovými dešti apod.) dodává výsledky pro hodnocení recentního klimatu a jeho proměn v kontrolovaném období mezi lety 1951-2006 (MAZURKIEWICZ 2011).

Momentálně je Německé meteorologické službě (DWD) k dispozici 35 projekcí změn klimatu pro scénář A1B ze 6 globálních klimatických modelů (s celkem 10 realizacemi) a 12 regionálních klimatických modelů (s částečně rozdílnými verzemi). Data projekcí pocházejí z databanky projektu EU ENSEMBLE FP6 a databanky CERA (Climate and Environmental Retrieval and Archive) Německého výpočetního střediska pro klima v Hamburku (DKRZ). Vedle akvizice těchto datových balíčků je zpracování a poskytnutí dat z projekcí změn klimatu pro modelování jejich dopadů hlavním úkolem v záměru 1.

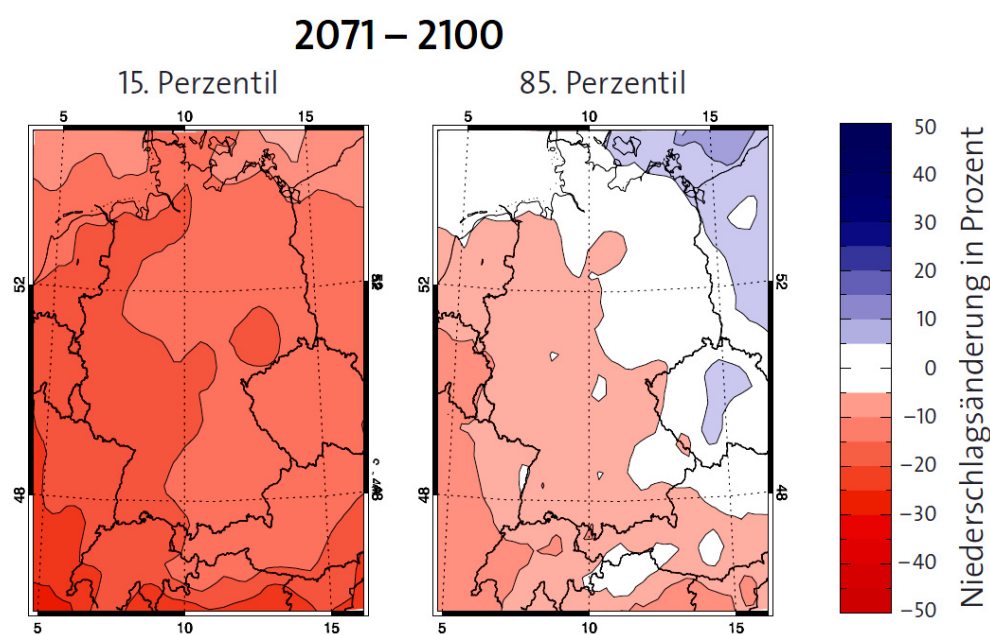


Obr. 1: Soubor srážkových dat regionální projekce změn klimatu A1B_ECHAM5r3_REMO5.7 (3.11.1980) v originálním rozlišení 25 km x 25 km (vlevo), regionalizovaná data (uprostřed) a data lineárně korigovaná metodou bias (vpravo) v referenčním rozlišení 5 km x 5 km

Data simulací zpracovaná postprocesorem s vysokým stupněm rozlišení (5 x 5 km²) byla pořízena pro parametry srážek, teploty vzduchu, relativní vlhkost a globální záření. Zde byly použity nejružnější postupy downscalingu včetně předepsaných korektur bias (např. linear

scaling, kvantilové mapování a východisko povětrnostních situací) na simulovaná data regionálních klimatických modelů (obr. 1). Zachování časové a prostorové konzistence sledovaných parametrů zůstává těžištěm při odvozování těchto postupů. Validace simulací v rámci kontrolního období se provádí srovnáním regionalizovaných sledovaných dat (IMBERY et al. 2013).

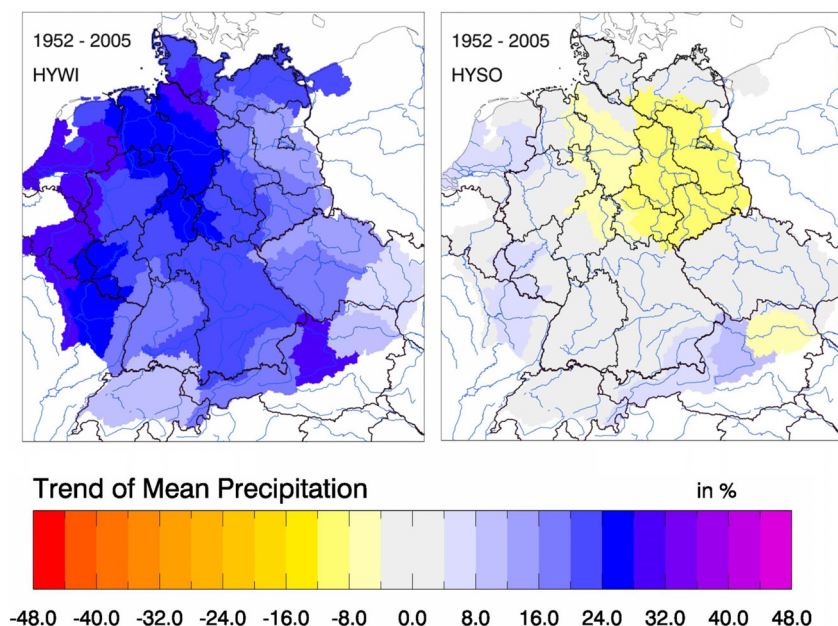
Pro vyhodnocení signálů změn projekcí klimatu a definování nepřesností bylo provedeno vyhodnocení ansámblů. Výsledky těchto vyhodnocení je možné zobrazit např. pomocí procentních map (obr. 2). Paralelně k tomu je nezbytné provést evaluace kvality simulací regionálních klimatických modelů. Obsáhlá srovnání byla vypracována na základě rastrových hodnot a jednotlivých povodí. Kromě toho se prověřovaly povětrnostní situace globálních klimatických modelů, a to do jaké míry vykazují zkreslenou simulaci markantních proudění v atmosféře, což může vést k nepřesnosti meteorologických parametrů (RIEDIGER 2013).



Obr. 2: Projekci znázorněné procentní změny průměrných letních srážek pro období 2071-2100 z jednoho ansámblu klimatických modelů (rozpětí mezi 15. a 85. procentním bodem ukazuje na nepřesnosti modelů při výpočtu simulovaného signálu klimatických změn.)

4 Výsledky

Dosud sledované změny srážkových úhrnů z období 1951-2006 ukazují rozdílné trendy pro jednotlivá roční období (obr. 3). Zatímco v zimním pololetí průměrné srážkové úhrny výrazně narůstaly, došlo v letním pololetí k jejich lehkému snížení. Nejsilněji se zimní trendy projevují v severozápadním Německu – nárůst až do 32 %. Ostatní části území se vyznačují mírným zvýšením od 8 do 20 %. Lehký úbytek bezesrážkových dní lze pozorovat v zimě (až do 10 % v jižním Německu). V létě se tento obraz nejeví jednoznačně. Často lze pozorovat negativní trendy se slabými signifikancemi. V německé části povodí Labe docházelo v průměru ke snížení srážkových úhrnů o 12 %.



Obr. 3: Relativní trendy srážkových průměrů pro povodí II. řádu v letech 1952-2005 v hydrologickém zimním pololetí (listopad až duben, vlevo) a v hydrologickém letním pololetí (květen až říjen, vpravo)

Co se týče změny ročního průměru teploty vzduchu v letech 2021-2050, lze pro Německo pravděpodobně očekávat nárůst o nejméně 0,5 °C. Přičemž teplotní nárůst o více než 2 °C (severní Německo), popř. 2,5 °C (jižní Německo) je spíše nepravděpodobný.

Pro období 2071-2100 lze považovat za pravděpodobný nárůst průměrných teplot vzduchu o minimálně 1,5 °C a maximálně o 3,5 °C v severním Německu, popř. o 4 °C v jižním Německu.

Rozdílný vývoj srážek podle ročních období vyžaduje diferencované sledování. Všeobecně se ukazuje tendence k poklesu množství srážek v letních měsících, zatímco v zimních měsících lze předpokládat nárůst srážek. Relativní změny srážkového průměru v letním období zobrazené v projekci vykazují rozpětí mezi velmi nízkým stavem srážek a poklesem až do 15 % pro období 2021-2050, a poklesem až do 25 % pro období 2071-2100. Několik málo klimatických modelů ukazuje pro ojedinělé regiony také lehké navýšení letních srážkových úhrnů.

Podle modelových výpočtů lze očekávat pro období let 2021-2050 spíše malé navýšení zimních srážek, které patrně nepřekročí hodnotu 10 %. Také pro období let 2071-2100 je navýšení o více než 15 % nepravděpodobné.

Ukazatel pro „horké dny“ představuje s výpočtem dní s denním maximem teploty vzduchu ve výši nejméně 30 ° měřící hodnotu pro extrémní „počasí“, popř. velké teplotní zatížení pro člověka. Jak pro období 2021-2050, tak také pro období 2071-2100 je pravděpodobné, že se počet „horkých dní“ bude zvyšovat. Až do poloviny 21. století je zde pravděpodobné, že nárůst o 5 až 10 horkých dní v severním Německu, resp. o 10 až 15 horkých dní v jižním Německu nebude překročen. Pro konec století lze předpokládat maximální nárůst o 10 až 15 dní (severní Německo), příp. o 30 až 35 dní (jihozápadní Německo). Podle projekcí jednotlivých klimatických modelů existuje však také velmi malá pravděpodobnost, že by pro celý sledovaný časový horizont počet horkých dní v Německu zůstal v podstatě nezměněn.

5 Shrnutí a výhled

Předtím, než bude možné odhadnout dopady klimatické změny na vodstvo, je nutné znát regionální změny klimatu ve své dle dnešních poznatků možné šíři. KLIWAS proto používá východisko multimodelů. Německá meteorologická služba dává k dispozici pro pracovníky, kteří pracují v nejrůznějších oborech na vývoji modelování dopadů změn klimatu, zpracované a korigované klimatické projekce a kvantifikuje nepřesnosti zvláště hydrometeorologicky relevantních parametrů. S dostatečně velkým ansámblem na základě projekcí a referenčních dat ze zájmových regionů je možné učinit statistické výpovědi o budoucích klimatických poměrech.

V poslední dekádě bylo možné získat nové poznatky o možném globálním vývoji v socio-ekonomii a technologii pro 21. století. Právě tak se zlepšily možnosti pro simulaci budoucích scénářů vykazujících prostorově i sektorálně vysoké rozlišení. Pro 5. zprávu (plánovaná publikace v roce 2014) mezivládního panelu Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bylo možné na tomto základě vyvinout nové scénáře pro vývoj koncentrací klimaticky relevantních skleníkových plynů v atmosféře, takzvané RCP (Representative Concentration Pathways). Momentálně se provádějí výpočty nových regionálních klimatických projekcí na základě globálních modelů podnětených scénáři RCP, které budou v průběhu roku 2013 k dispozici a mohou být pak mimo jiné využívány v poradenství pro oblast klimatu a životního prostředí Německé meteorologické služby (DWD).

Literatura

- IMBERY, F., S. PLAGEMANN, J. NAMYSLO (2013): Processing and Analyzing an Ensemble of Climate Projections for the Joint Research Project KLIWAS. *Advances in Science and Research*, subm.
- MAZURKIEWICZ, A. (2011): Climatological and Hydrological Analysis of Precipitation Characteristics in Germany and Central European Catchment Basins. Master Thesis, University of Reading.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. MAZURKIEWICZ, A. GRATZKI (2013): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins – part I: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results. *Meteorologische Zeitschrift*, subm.
- RIEDIGER, U. (2013): Future Weather types and their influence on mean and extreme precipitation and temperature indices. *Meteorologische Zeitschrift*, in prep.



Kontakt:

Ulf Riediger

Deutscher Wetterdienst

Frankfurter Str. 135

63067 Offenbach

Tel.: + 49 69 8062 2056

E-Mail: Ulf.Riediger@dwd.de

2001-2008

Studium fyzické geografie, meteorologie a
hydrologie na univerzitě ve Frankfurtu

Od r. 2009

Vědecký pracovník Německé meteorologické
služby, odbor hydrometeorologie

Účast na projektu:

2009-2013: KLIWAS – Záměr 1, projekt 1.01:
Klimatologická analýza objektivních
povětrnostních situací na základě
retrospektivní analýzy a klimatických
projekcí

Očekávané změny vodního režimu při povodních nebo při nízkém stavu vody na českých řekách v 21. století

Jan Daňhelka a Bohuslava Kulasová

1 Úvod

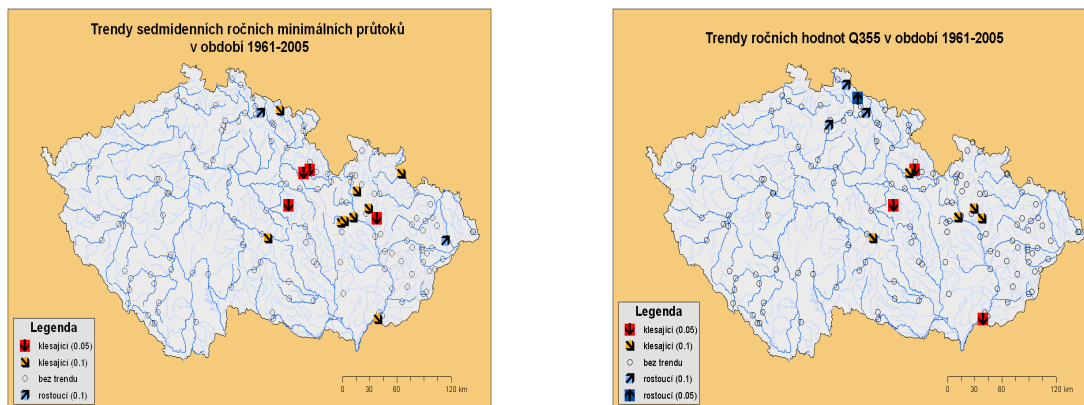
V letech 2007-2011 byl v ČHMÚ řešen grantový projekt VaV SP/1a6/108/07 „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“. V rámci řešení dílčího úkolu „Dopady změny klimatu na extrémní hydrologické jevy“ byla stanovena dvě hlavní témata: posouzení možných dopadů změny klimatu na maximální průtoky (řešitel Daňhelka a kol.) a posouzení dopadů předpokládaných klimatických scénářů na minimální průtoky (řešitel Kulasová a kol.).

2 Trendy vybraných charakteristik průtoků

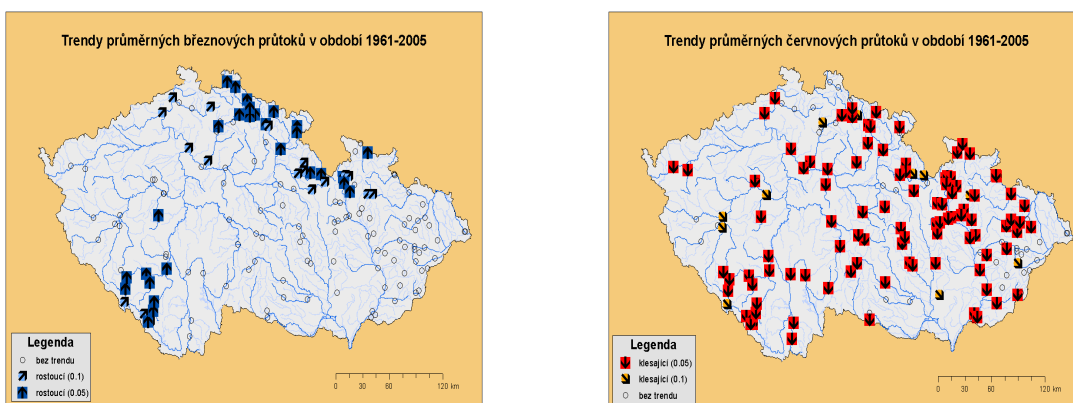
V rámci prací byly vyhodnoceny trendy režimu průměrných a minimálních průtoků ve 150 vodoměrných stanicích v pozorovaných průtokových řadách (1961–2005), které nejsou významně ovlivněny provozem vodních děl a odběry vody. Pro výpočet významnosti trendu byl použit modifikovaný Mann-Kendallův test na hladině významnosti 0,1 a 0,05.

Výsledky ukázaly, že ačkoliv v průměrném ročním odtoku nedochází k výrazným změnám, určité změny jsou pozorovány u dlouhodobých průměrných měsíčních průtoků zpracovaných po jednotlivých měsících. Statisticky významný rostoucí trend vykazují leden, únor a březen (většinou v horských a podhorských oblastech) a naopak měsíce květen a červen vykazují statisticky významný trend klesající. V případě charakteristik minimálních průtoků (Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} a minimálních sedmidenních průtoků) a nedostatkových objemů však byly významné trendy identifikovány jen výjimečně.

Trendy vybraných průtokových charakteristik jsou znázorněny na obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1: Vyhodnocené trendy ročních minimálních 7denních průtoků (vlevo) a průtoků Q_{355d} (vpravo).



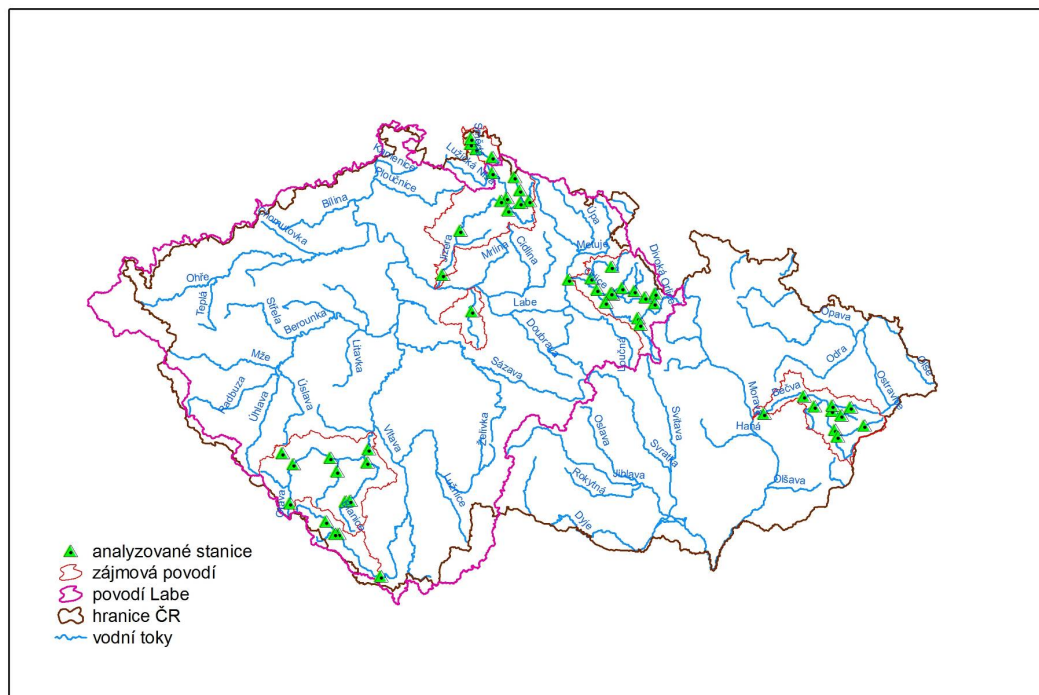
Obr. 2: Vyhodnocené trendy průměrných měsíčních průtoků pro březen (vlevo) a červen (vpravo).

3 Simulace průtokových řad pro hodnocená období v 21. století

Posouzení možných dopadů změny klimatu na charakteristiky odtoku ve vybraných povodích vycházelo z výstupů klimatických scénářů. Dosažené výsledky je nutné chápat pouze jako scénáře typu, co se stane když, neboť nejistota klimatických scénářů, na nichž jsou založeny, je příliš velká a současné klimatické modely dosud nedosahují úrovně, která by umožňovala jejich vědecky korektní uplatnění v modelování očekávaných změn zejména povodňového režimu s dostatečně robustními výsledky (Kundzewicz, 2011).

Simulace budoucích extrémních průtokových charakteristik byla provedena pro různé klimatické scénáře a pro tři časová období v 21. století (2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099) a též pro referenční období (1961–1990). Generátorem LARS-WG (Semenov, 2008) byly generovány 1000leté řady meteorologických prvků, které byly prostorově distribuovány upravenou metodou Schaake Shuffle (Clark et al., 2004) a v čase byly stochasticky distribuovány do 6 h kroku. Odtok byl simulován hydrologickým systémem AquaLog zahrnujícím model SAC-SMA (NWS, 2010). Vyhodnocení bylo provedeno také pro tři varianty chladnějších klimatických podmínek odpovídajících konci 19. století z důvodu zjištění citlivosti odtokového procesu na řídicí klimatické vstupy.

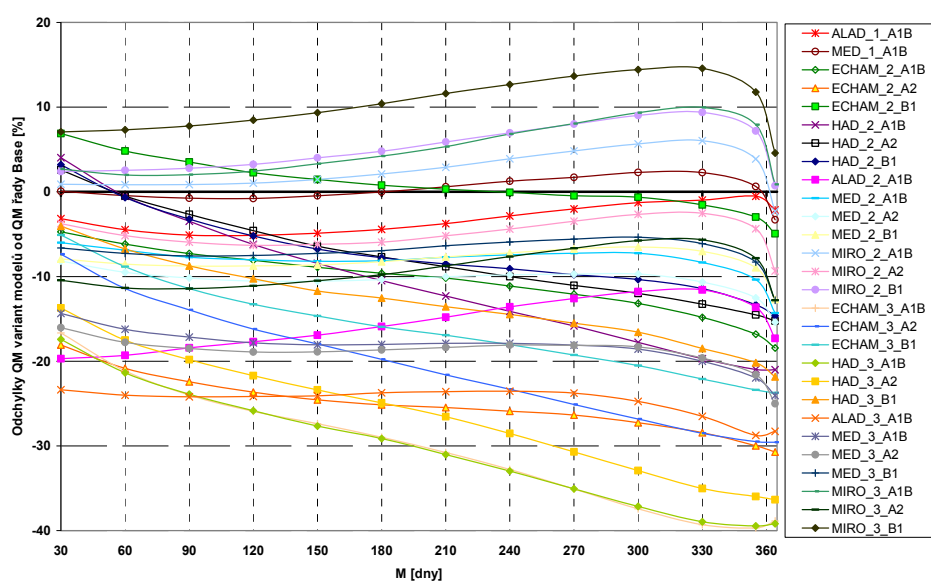
Pro modelování bylo vybráno 7 následujících povodí: Orlice, Výrovka, Jizera, horní Vltava, Otava, Smědá a Bečva (viz obr. 3).



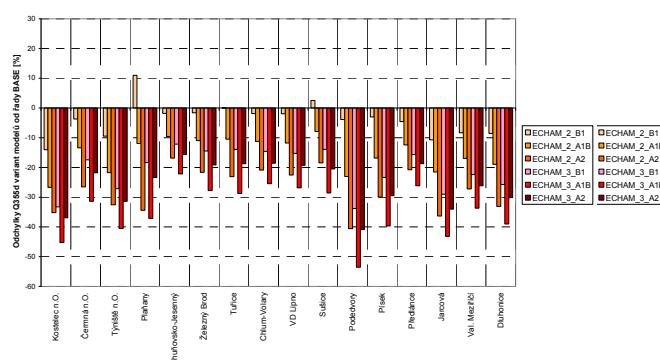
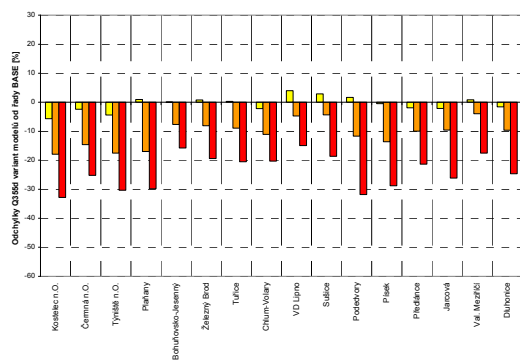
Obr. 3: Zájmová povodí a analyzované stanice.

V 16 vodoměrných stanicích ve zvolených povodí byla provedena analýza minimálních průtoků z čáry překročení M-denních průtoků (Q_a , Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d}) a minimálních sedmidenních průtoků Q_{min7d} (průměry a N-leté minimální sedmidenní průtoky s dobou opakování $N = 5$ až 100 let).

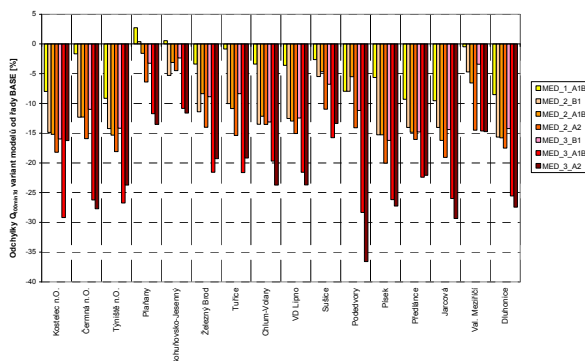
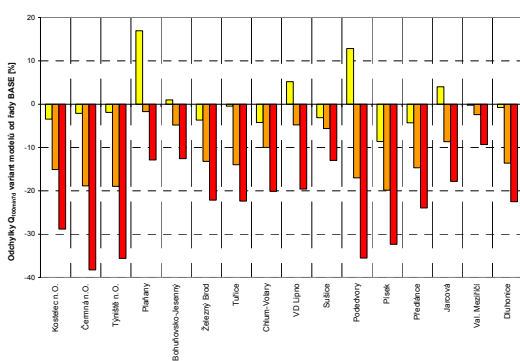
Byly porovnány charakteristiky průtoků simulovaných řad a řady za referenční období a byly spočítány jejich procentuální odchylky. Vybrané výsledky jsou uvedeny na obr. 4, 5 a 6.



Obr. 4: Relativní odchylky ze simulovaných M-denních průtoků Otavy v Písku.

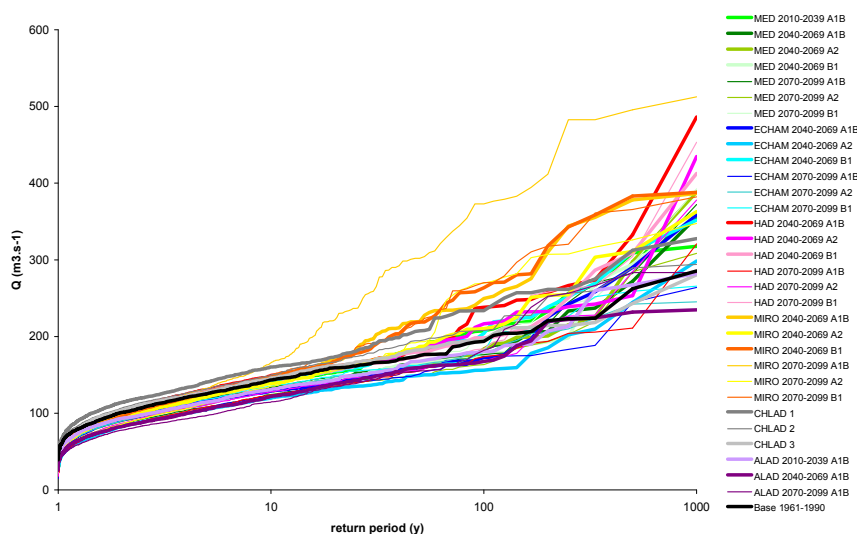


Obr. 5: Odchylky průtoku Q_{355d} – ze simulací dle klimatických scénářů ALADIN-CLIMATE/CZ (vlevo) a MPI_ECHAM5 (vpravo). Časová období označena: 1 = 2010-2039, 2 = 2040-2069, 3 = 2070-2099.



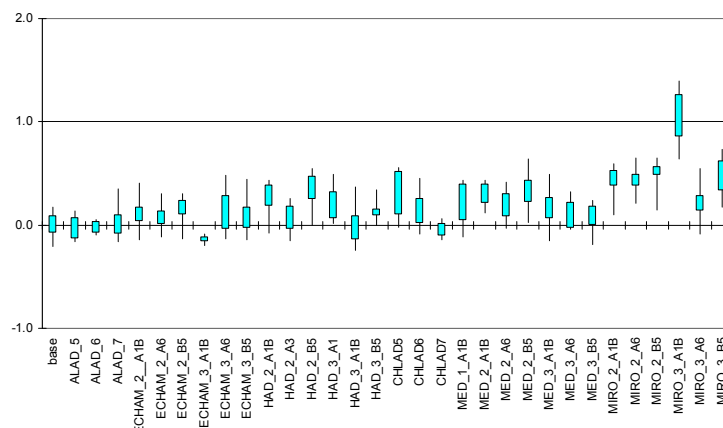
Obr. 6: Odchylky průtoku $Q_{100min7d}$ – ze simulací dle klimatických scénářů ALADIN-CLIMATE/CZ (vlevo) a MED (vpravo). Časové období označeno: 1 = 2010-2039, 2 = 2040-2069, 3 = 2070-2099.

Na základě vyhodnocení řad simulovaných ročních průtokových maxim byly zkonstruovány empirické křivky překročení, které jsou pro příklad stanice Týniště nad Orlicí uvedeny na obr. 7.



Obr. 7: Empirická křivka překročení pro Orlici v Týništi nad Orlicí.

Ukázka výsledků simulací ansámblu variant časoprostorové distribuce srážek pro největší povodňové události v simulovaných řadách pak prezentuje obrázek 8.



Obr. 8: Výsledky simulace ansámblu časoprostorového rozložení vstupujících srážek pro 5. největší povodeň v modelované řadě pro Orlici v Týništi nad Orlicí.

4 Zhodnocení výsledků

Hodnoty odvozených charakteristik průtoků jsou závislé na kombinaci klimatického modelu a emisního scénáře. Srovnatelné výsledky poskytují simulace založené na ALADIN-CLIMATE/CZ a MED, výraznější poklesy vycházejí u UKMO_HADCM3 a MPI_ECHAM5. Atypicky se chovají simulace odvozené z MIROC3_2_M, které předpokládají navyšování srážek v letním období.

Z výsledků simulací vyplynulo, že charakteristiky řad namodelovaných průměrných i minimálních průtoků mají výrazný rozptyl a tedy nejistotu. Přesto je patrný převažující signál směrem k poklesům minimálních průtoků. Pro nejbližší časové období 2010-2039 vycházejí poklesy průtoků Q_{355} relativně malé, a to většinou do -5 %. Ve druhém časovém období 2040-2069 hodnota Q_{355d} poklesla v průměru přibližně o -13 %, v nejvzdálenějším časovém období 2070-2099 poklesla v průměru pak o cca -23 %.

Obdobně i u hodnocení minimálních sedmidenních průtoků (průměrů i průtoků $Q_{100min7d}$) vycházejí v průměru poklesy, které jsou výraznější ve vzdálenějších časových horizontech. V nejbližším časovém horizontu průtok $Q_{100min7d}$ klesá cca o -2 %, v druhém horizontu v průměru o -11 % a v nejvzdálenějším horizontu o -18,2 %.

Také simulace změn povodňového režimu se výrazně liší v závislosti na použitém řídicím klimatickém scénáři. Nelze identifikovat ani jednoznačný trend v průběhu 21. století, avšak většina simulací, zejména pro emisní scénář A1B, ukazuje spíše mírný pokles velikosti povodní pro vzdálenější časové horizonty, zatímco pro nejbližší simulované období (do roku 2039) jsou získané signály nejednoznačné. Pouze u emisního scénáře A2 převládá nárůst směrem k pozdějšímu období. Simulované rozdíly jsou vůči současnému referenčnímu scénáři většinou relativně malé. Přitom se zdá, že zásadní vliv na simulovaný povodňový režim, zejména v oblasti delších dob opakování průtoků, má předpokládané množství srážek v letním období a nejednoznačnost trendu jde na vrub antagonistickému působení vlivu

srážek (méně časté, ale extrémnější) a menšího průměrného počátečního nasycení půdy (v důsledku vyšší potenciální evapotranspirace a delšího období výskytu suchých epizod v letní sezóně).

5 Shrnutí a diskuze

Výsledky prokázaly velkou nejistotu. Přesto ukazují na rostoucí vliv očekávané klimatické změny na pokles průměrných a minimálních průtoků, zvláště u vzdálenějších časových horizontů. Pro nejbližší časový horizont (do roku 2039) nenavrhujeme žádné zvláštní opatření. Za dostačující opatření považujeme změnu referenčního období. ČHMÚ bude od ledna 2013 poskytovat M–denní průtoky za referenční období 1981–2010, které lépe charakterizuje současný hydrologický režim.

V důsledku nejistoty výsledků je vhodné z možných adaptačních opatření uvažovat zejména o těch zacílených na problematiku nedostatku vody a správného managementu krajiny, tedy o opatřeních v krajině (plošná rozmanitost, zalesnění, zatravnění, osevní postupy, průlehy, zaskokovací pásy aj.), revitalizaci toků, infiltrace v urbanizovaných územích, obnově starých či zřízení nových vodních nádrží, zefektivnění hospodaření s vodními zdroji (převody vody, vícenásobné využití vody aj.), zmenšení spotřeby vody a dokonalejší čištění odpadních vod. Jedná se tedy o opatření, která zvyšují míru adaptace lidské společnosti vůči současné variabilitě hydrologického cyklu.

Literatura

- CLARK, M., S. GANGOPADHYAY, L. HAY, B. RAJAGOPALAN, R. WILBY (2004): The Schaake Shuffle: A Method for Reconstructing Space–Time Variability in Forecasted Precipitation and Temperature Fields, *Journal of Hydrometeorology* 2004; 5, pp. 243–262.
- KUNDZEWICZ, Z. (2011): Global Change and Flood Risk Management. In Chavoshian, A. Takeuchi, K. (2011): Large-scale Floods Report, ICHARM, Tokyo, pp: 1–26.
- NWS (2010): NWSRFS User Manual Documentation, dostupné na
<http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/nwsrfs/users_manual/htm/xrfsdocpdf.php>
- SEMENOV, M. A. (2008): Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Clim Res*, 11, pp. 203–212.

Kontakt:

Bohuslava Kulasová

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17

143 06 Praha 4 - Komořany

Tel.: +420 244 032 302

Fax: +420 244 032 342

E-Mail: kulasova@chmi.cz

rok narození: 1946

1963-1968 (Ing.)

České vysoké učení technické, Stavební fakulta

Obor: Vodní stavby a vodní hospodářství

od 1969 v ČHMÚ

hydrolog – prognostik

hydrolog – specialista na zpracování hydrologických
charakteristik povrchových vod, statistické zpracování

Vybrané projekty:

1997-2000: Projekt VaV/510/3/97 – Vývoj a ověřování
metodických postupů k odhadu návrhových
povodní s extrémní dobou opakování.
DÚ 2.4 Statistické metody odhadu charak-
teristik extrémních povodní.

2001-2004: Projekt QD 1368 – Verifikace metod odvo-
zení hydrologických podkladů pro posuzo-
vání bezpečnosti vodních děl za povodní.

2003-2005: Projekt VaV/650/6/03 – Vliv, analýza a
možnosti využití ochranné funkce údolních
nádrží pro ochranu před povodněmi v po-
vodí Labe

2007-2011: Projekt VaV SP/1a6/108/07 – Zpřesnění
dosavadních odhadů dopadů klimatické
změny v sektorech vodního hospodářství,
zemědělství a lesnictví a návrhy adap-
tačních opatření.
DÚ 3 Dopady změny klimatu na minimální
průtoky.

1995-2005: člen (mluvčí) skupiny Hydrologie MKOL

2006 - dosud: předseda skupiny expertů Hydrologie
MKOL

2011-2013: člen ad hoc skupiny Management
množství vod MKOL



Kontakt:

Dr. Jan Daňhelka

Český hydrometeorologický ústav
Na Šabatce 17
143 06 Praha 4 - Komořany
Tel.: +420 244 032 300
Fax: +420 244 032 342
E-Mail: danhelka@chmi.cz

rok narození: 1976

1994-1999 (MSc.)

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta
Obor: Fyzická geografie

1999-2005 (Ph.D.)

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta
Obor: Hydrologie

od 1999 v ČHMÚ

hydrolog – prognostik
náměstek ředitele pro hydrologii

od 2004 Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
odborný asistent, externí pedagog

Vybrané projekty:

- | | |
|-----------------|--|
| 2003-2006 | Projekt FLAMIS – mezinárodní (česko-švýcarský) projekt Flood assesment and mitigation in the Lužnice river basin in southern Bohemia |
| 2003-2005 | Projekt VaV/650/6/03 – Vliv, analýza a možnosti využití ochranné funkce údolních nádrží pro ochranu před povodněmi v povodí Labe

Projekt VaV/650/4/03 – Výzkum vztahů mezi meteorologickými příčinami vývoje silných srážek a hydrologickou odezvou povodí |
| 2006-2008 | Projekt Operationelles Hochwassermanagement in großräumigen Extremsituationen am Beispiel der Mittleren Elbe, v rámci programu RIMAX |
| 2007-2011 | Projekt VaV SP/1c4/16/07 – Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR

Projekt VaV SP/1a6/108/07 – Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, modelování dopadů klimatické změny na extrémní průtoky v ČR |
| od 2010: | Hydrological Advisor (hydrologický poradce České republiky pro WMO) |
| od 2011: | člen České komise pro UNESCO |
| od 2012: | předseda Českého národního výboru pro hydrologii |

Změny vodního režimu Labe ve 21. století

Imke Lingemann, Enno Nilson, Maria Carambia a Peter Krahe

1 Úvod

Pozorované krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé změny průtoků Labe a jeho větších přítoků byly vyvolány jednak jako důsledek přirozených změn ve vodním režimu a za druhé jako důsledek mnoha různých antropogenních opatření ovlivňujících nakládání s vodami (viz příspěvky v této publikaci autorů EBNER VON ESCHENBACH & HOHENRAINER 2013, BELZ 2013, GRÜNEWALD 2013, SKOŘEPA 2013).

V neposlední řadě podléhají výpovědi o budoucích změnách vodního režimu na základě vzájemného působení také relativně velké míře nejistoty. Jaké následky bude mít případná klimatická změna pro přirozenou vodní bilanci? Jak bude člověk na to reagovat? Jaké to následně bude mít dopady na vodní a průtočný režim Labe a jeho přítoků?

V minulých letech byla představena různá východiska pro zacházení s těmito nejistotami v kontextu modelování vodního režimu (CONRADT et al. 2012, HANEL et al. 2012, HATTERMANN et al. 2010, NILSON et al. 2010, NILSON & KRAHE 2012). Tento příspěvek prezentuje dílčí výsledky výzkumného programu KLIWAS – Klima, voda, lodní doprava – Dopady klimatické změny na vodní cesty a lodní dopravu v Německu (Projekt 4.01 – Vodní režim, vodní stavy, transportní kapacita). Těžiště leží přitom na identifikaci nejistot v simulacích budoucích odtokových poměrů, které pocházejí z použití různých projekcí klimatu, zatímco všechny ostatní možné budoucí změny se považují za konstantní.

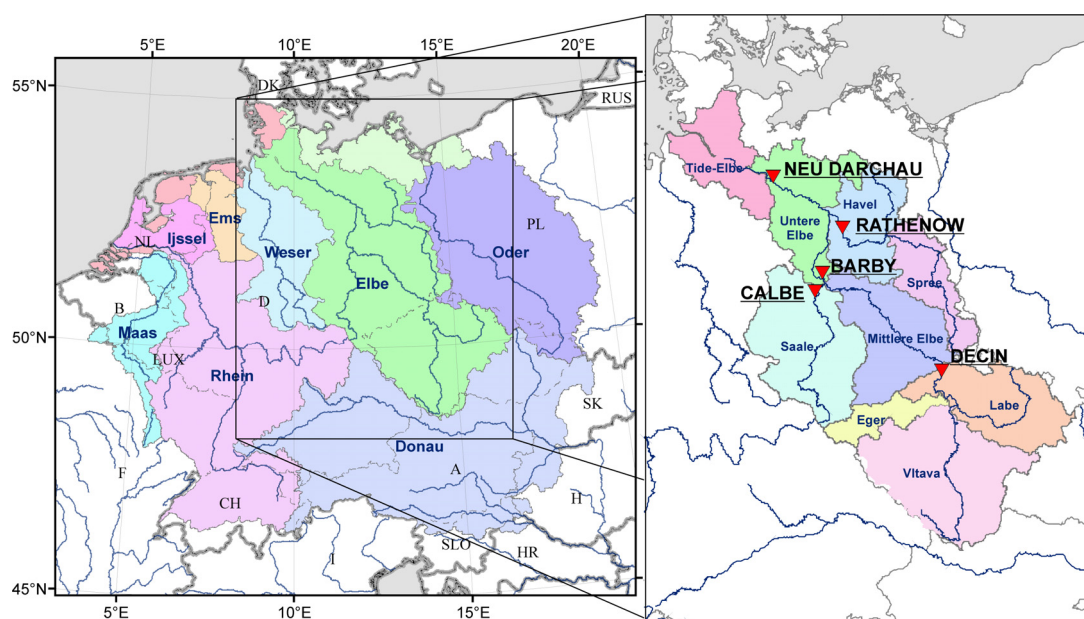
Práce sledují v podstatě stejné východisko, které bylo uplatněno v rámci projektu KLIWAS na Rýnu a Dunaji (NILSON et al. 2010, KLEIN et al. 2012). Datové podklady a aplikované metody jsou popsány v následujícím odstavci. Během výzkumu se ukázalo, že v případě povodí Labe hrají nejrůznější vlivové veličiny větší roli než tomu je v povodích položených dále západním směrem. Hlavní příčinu pro tuto skutečnost lze vysledovat z celoplošně provedeného srovnání v Německu, které vykazuje nižší srážky a v relaci k odtoku podstatně vyšší podíl výparu ve vodní bilanci povodí Labe (srov. Tabulka 1). To koreluje s vyšší senzitivitou simulovaných průtoků oproti zvoleným východiskům srážkových a teplotních korekcí, s výpočtem výparu a také se zohledněním způsobu nakládání s vodami. Tyto aspekty nejsou však předmětem zde popisovaného výzkumu.

Následující odstavec shrnuje datový a modelově-technický rámec. Výsledky budou pak představeny formou popisu signálů změn ve vztahu k situaci průměrných a nízkých průtoků na profilech zobrazených na Obr. 1 v povodí Labe. Tyto signály změn navazují na momentální průtokový režim v oblasti Labe (obr. 2), který lze jednoznačně označit jako pluvio-nivální (typ déšť-sníh; MKOL 2005).

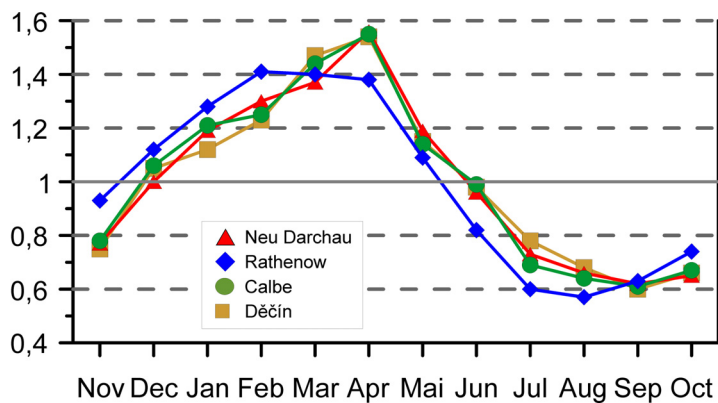
Tabulka 1

Srovnání důležitých veličin hydrologické bilance v povodí Rýna a Labe
(změněno podle MAURER et al. 2011).

Povodí	Labe	Rýn
Území	148.000 km ²	197.000 km ²
Délka toku	1094 km	1230 km
Počet obyvatel	24 mil.	58 mil.
Středně velký průtok (ústí toku)	~860 m ³ /s	~2500 m ³ /s
Srážky	~630 mm (100%)	~950 mm (100%)
Výpar	~450 mm (71%)	~550 mm (58%)
Průtok	~180 mm (29%)	~400 mm (42%)



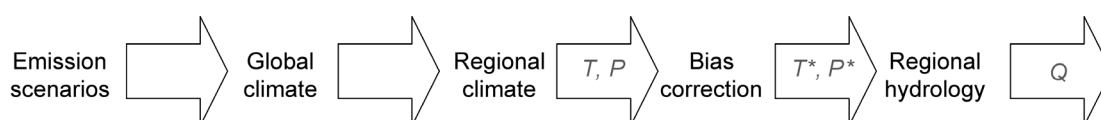
Obr. 1: Přehled o zkoumaném území projektu KLIWAS (vlevo) a povodí Labe (vpravo). Červené trojúhelníky vyznačují profily uvedené v odstavci 0.



Obr. 2: Průtokový režim Labe (Děčín, Neu Darchau), Sála (Calbe) a Havola (Rathenow), zobrazen na základě nedimenzionálních koeficientů Pardé v období let 1961 - 1990.

2 Data a modely

Simulace budoucího vodního režimu v povodí Labe jsou založeny na komplexním modelovém řetězci (Obr. 3). Na jeho základě se budou možné cesty rozvoje světového hospodářství a jejich dopady na globální a regionální klimatický systém (mj. z důvodu zvyšujících se emisí CO_2 a z toho vyplývajících hospodaření s energiemi) převádět na klimatické veličiny, které jsou významné pro regionální vodní režim. Sem patří teplota vzduchu (T) a srážky (P). Srovnání mezi těmito modelovými a pozorovanými daty stejného období vykazuje často systematické rozdíly (takzvaná bias), které se korigují pomocí statistických korekčních modelů. Na základě těchto modifikovaných hydrometeorologických veličin (T^* popř. P^*) se pomocí regionálních hydrologických modelů vypočítávají změny odtoků (Q).

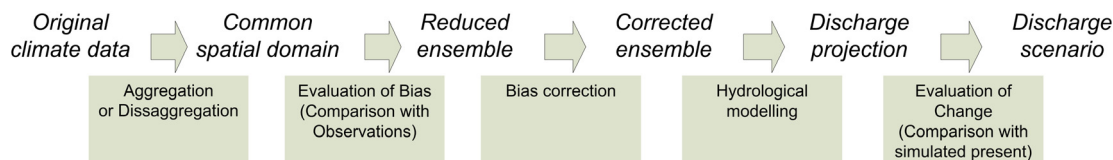


Obr. 3: Schéma modelového řetězce hydrologického výzkumu dopadů klimatických změn

Podkladem pro každý model řetězce jsou hypotézy a data, jejichž přesnost je omezena. Obvyklá praxe je, že použitím různých modelů se získává představa o příslušných nejistotách (tzv. multimodelové východisko). Těžiště tohoto výzkumu spočívá na zobrazení nejistot vyplývajících ze vstupních meteorologických dat (klimatické modelové řetězce; viz tabulka 2). Pro jiné rámcové podmínky (např. využívání území, nakládání s vodami, hydrologický model, metoda korektur bias, východisko výparu) se vědomě žádné varianty nemodelují. Je tedy třeba mít na paměti, že při zohlednění uvedených vlivů existuje možnost, že se odhalí či určí i jiné senzitivnosti. Zde by bylo třeba provést další výzkum.

Zpracování a vyhodnocení dat klimatických modelů

Tabulka 2 dává přehled o 35 řetězcích klimatických modelů uplatněných v projektu KLIWAS. Zobrazený multimodelový soubor reprezentuje datové podklady, které byly k dispozici koncem r. 2012. Různé kroky procedury zpracovávání a vyhodnocování, které byly na tato data použity, jsou shrnuty ve schématu na Obr. 4.



Obr. 4: Schéma vyhodnocovacího rámce pro pořízení scénáře odtoků.

Tabulka 2

Uplatněné modelové řetězce (SRES = scénář emisí, GCM = Globální klimatický model, RCM = Regionální klimatický model; šedá barva = nepoužito z důvodu vysokých hodnot bias; * = modelové řetězce pro soubor odtoků dosud nepoužité, protože se ještě zpracovávají (KRAHE et al., in Vorber.).

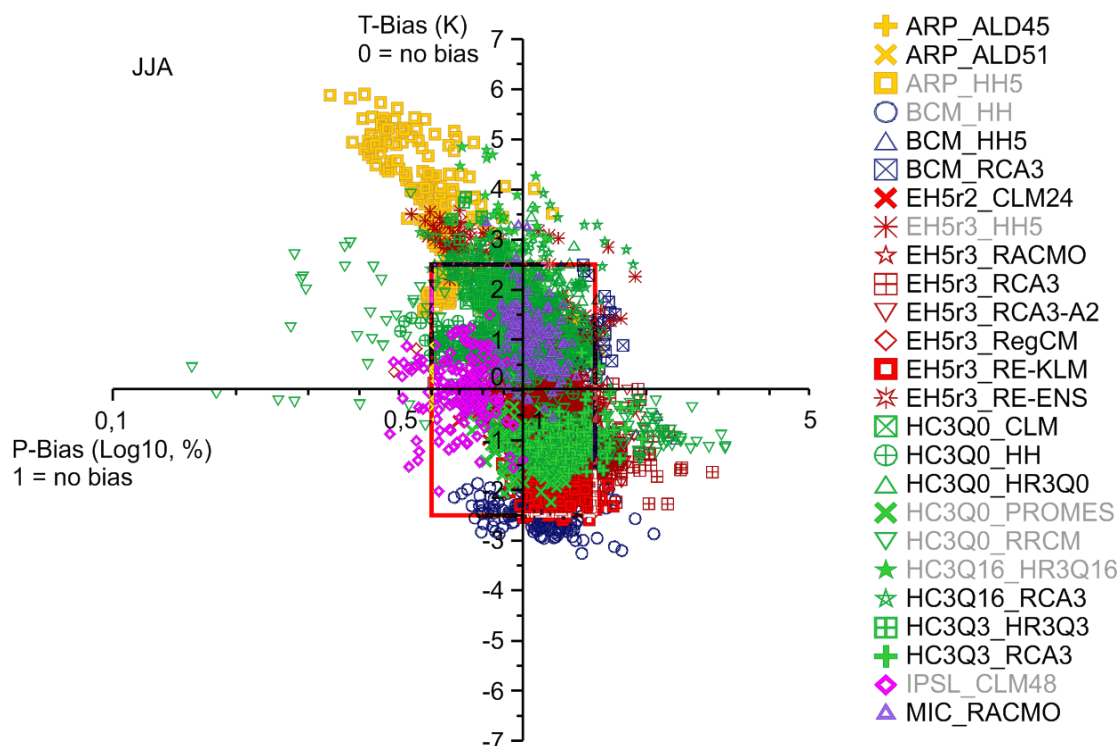
Nr.	SRES	GCM	RCM
1	A1B	ARP	ALD45
2			ALD51
3			HIRH5
4		BCM	HIRH
5			HIRH5
6			RCA3
7		EH5r1	CLM48*
8			CLM24*
9			RE-UBA*
10		EH5r2	CLM48*
11			CLM24*
12			RE-BFG*
13		EH5r3	HIRH5
14			RACMO
15			RCA3
16			RE-ENS
17			REGCM
18			RE-KLM

Nr.	SRES	GCM	RCM
19	A1B	HCQ0	CLM
20			HIRH
21			HRQ0
22			PROMES
23			RE-BFG*
24			RRCM
25		HCQ3	HRQ3
26			RCA3
27		HCQ16	RCA3
28			HRQ16
29		IPSL	CLM48
30		MIC	RACMO
31	A2	EH5r1	RE-UBA*
32		EH5r3	RCA3
33	B1	EH5r1	CLM24*
34		EH5r1	RE-UBA*
35		EH5r2	CLM24

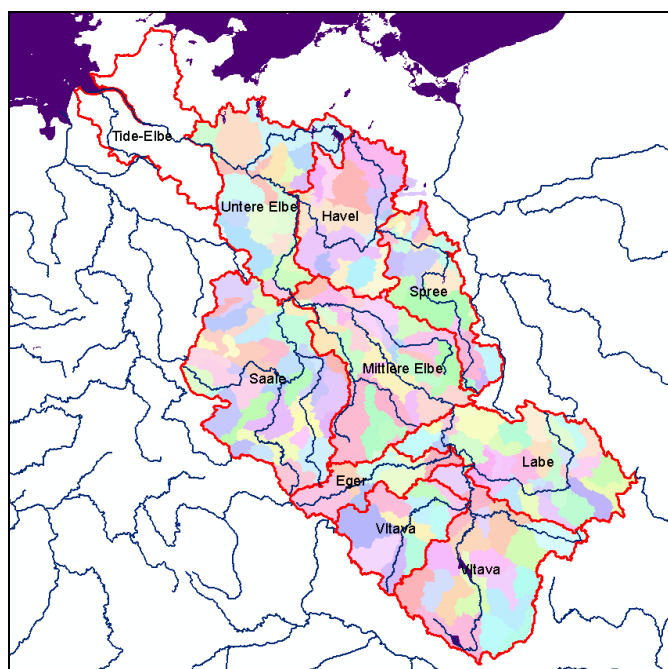
Aby bylo možné srovnávacím způsobem vyhodnotit různé řetězce klimatických modelů, je jako první krok nutné originální data, která existují na nejrozličnějších počítačových rastrech, převést do společné prostorové relace (KRAHE et al. 2009). Zde byla všechna data pro popis území hydrologického modelu agregována do 190 dílčích povodí Labe (viz. obr. 6).

V dalším kroku bylo ze seznamu 35 modelových řetězců (stav ke konci r. 2012) podrobeno zatím 25 z nich důkladné zkoušce věrohodnosti (viz Obr. 5). Kritériem zde jsou systematické odchylky modelovaných teplot vzduchu a srážek od naměřených hodnot let 1961-1990 za každé meteorologické období a dílčí povodí (tzv. bias). Protože modely mohou zobrazit realitu jen aproximativně, je nevyhnutelné, že výsledky řetězců klimatických modelů vykazují určité odchylky od pozorovaných dat. Jednotlivé řetězce se však systematicky odchylují do té míry od pozorovaných skutečností, že jejich použití pro hydrologickou analýzu následků klimatických změn se nejeví jako smysluplné. Z tohoto důvodu byl soubor na základě zkoušek bias redukován o 7 modelových řetězců, které za jedno či více ročních období vykazovaly zvláště vysoké bias (označeno šedě v Tabulka 2 a Obr. 5).

Pro výsledky ostatních 18 řetězců klimatických modelů se musí zkorrigovat bias, aby bylo možné je pro modelování vodního režimu použít. Přitom se simulované teplotní a srážkové hodnoty, vypočítané na základě indexačních faktorů pořízených pro každý modelový řetězec z mnohaletých měsíčních dat a zároveň z jednotlivých povodí, uvádějí na úroveň pozorovaných dat, která jsou základem hydrologického modelu HBV-D, podle LENDERINK et al. (2007), a tyto se pak řadí lineárně do stupnic.



Obr. 5: Vyhodnocení 25 různých řetězců klimatických modelů (viz. Tabulka 2) pomocí metody bias, zobrazené na základě odchylek simulovaných mnohaletých průměrných teplot (vertikální osa) a celkového úhrnu srážek (horizontální osa, logaritmické řazení do stupnic), z pozorovaných hodnot (HYRAS) v meteorologickém létě (červen, červenec, srpen; jako příklad z období let 1961-1990 pro 190 dílčích povodí Labe. O co těsněji leží hodnoty na souřadnicové ose, o to menší je bias. Pozitivní hodnoty (teplota), popř. faktory > 1 (srážky) odkazují na nadhodnocení indikované modelovými řetězci. Řetězce vytištěné v šedé barvě nejsou v dalším modelování již zohledněny. Kritéria selekce jsou naznačena červeným boxem (T-Bias $\pm 2,5$ K; P-faktor 0,6-1,5). * = ještě ve zpracování.



Obr. 6: Územní struktura hydrologického modelu HBV-D.

Hydrologické modelování

Hydrologické modelování bylo provedeno modifikovanou verzí, rozšířenou o českou část povodí Labe, a to pomocí koncepčního, semidistributivního modelu HBV-D (LAUTENBACH 2005). Zde se však jedná o další verzi modelu HBV (BERGSTRÖM 1995), který byl původně vyvinut ve Švédském meteorologickém a hydrologickém institutu (SMHI). Modelované území zahrnuje celé povodí Labe až k profilu v Geesthachtu (obr. 6). Labe ve svém ústí ovlivněné přílivem a odlivem do toho však již zahrnuto není.

Parametry modelu byly definovány za použití dat meteorologického pozorování (HYRAS, RAUTHE et al., v tisku) a pozorovaných průtoků. Detaily o koncepci modelu a primární literatura je k dohledání u LINGEMANN (2012).

Model HBV-D simuluje ukazatele vodního režimu na základě denních měření pro 190 dílčích povodí (obr. 6), a to podle srážkových hodnot a podle teplot vzduchu v území. Potenciální výpar se vypočítává při teplotách nižších než 5°C pomocí modifikované verze vzorce podle Ivanova (LAUTENBACH 2005). Pro teploty přesahující 5°C se potenciální výpar vypočítává podle varianty přizpůsobené středoevropským poměrům, a to podle vzorce Blaney-Criddle (DVWK 1996).

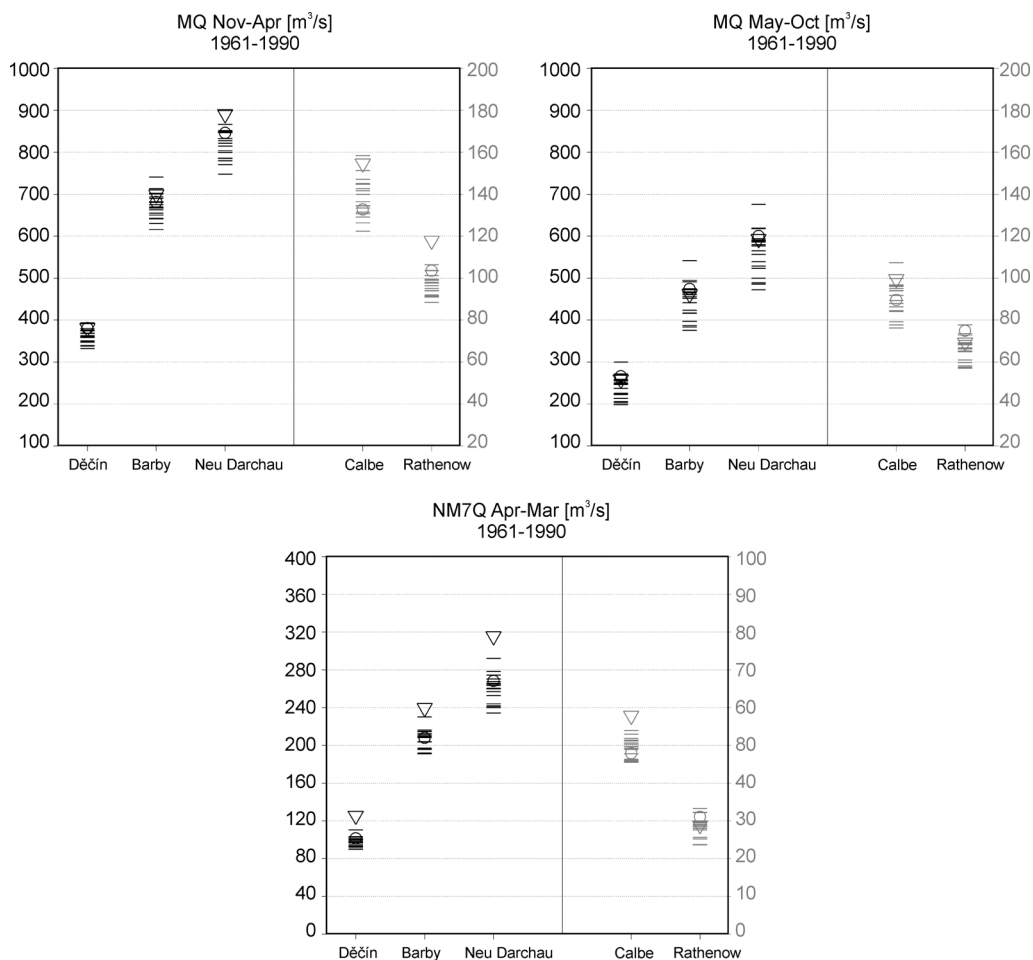
3 Výsledky

Simulace současných průtokových poměrů (1961-1990)

Schopnost vypracovaného modelového řetězce pro reprodukci pozorovaných průtokových poměrů je zobrazena na základě dvou srovnání simulovaných výsledků pozorovaných průtokových dat na Obr. 7. Jednak byly vyhodnoceny simulace průtoků HBV-D za použití pozorovaných meteorologických dat („referenční cyklus“), aby se vlastnosti a kvalita hydrologických komponent modelu HBV-D mohly ve srovnání k měřeným datům vyhodnotit. Za druhé byl proveden odhad kvality všech modelových řetězců v konfrontaci se simulacemi průtoků za použití již dříve popsanych zpracovaných dat klimatických modelů ("kontrolní cyklus") a referenční cyklus.

Srovnání referenčního cyklu (kroužky na Obr. 7) a pozorování (trojúhelníčky na Obr. 7) dokládá, že model HBV-D je schopen reprodukovat pozorované průměrné hodnoty průtoků (MQ) na profilech hlavního toku Labe. Odchyly obnášejí méně než 5 %. Na vedlejších tocích Havola a Sála jsou odchyly větší (do 15 %). Při vyhodnocování výsledků simulace je třeba brát v úvahu, že pozorované průtoky v povodí Labe jsou často ve větší míře antropogenně ovlivněné než je tomu jinde (odčerpávání důlních vod, převáděné průtoky, zadržování vody v přehradách). Tím jsou postiženy především nízké průtoky za sucha (NM7Q). S výjimkou profilu Rathenow/Havola tenduje model HBV-D k podhodnocení pozorovaných hodnot z období let 1961-1990.

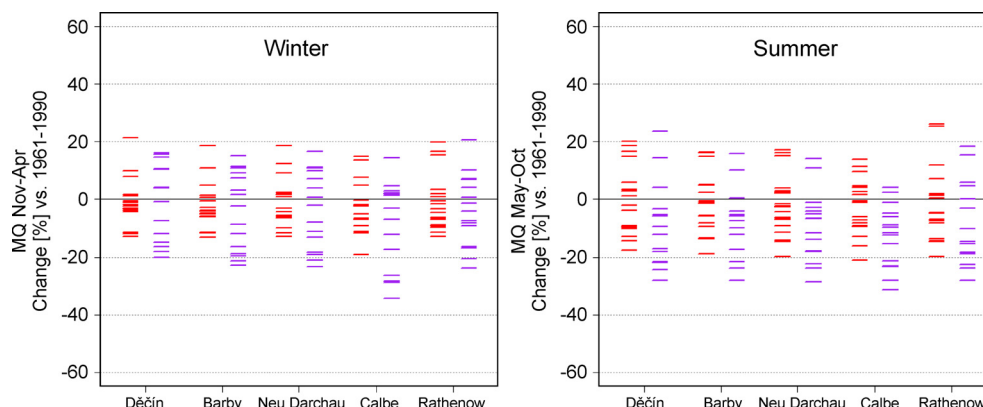
Výsledky kontrolních cyklů (čárky na Obr. 7) jsou rozptýleny v pásmu od většinou +10 % do -20 % okolo hodnoty referenčního cyklu. Podle toho vystihují modelové řetězce základní charakteristiky průtokového režimu. Avšak průměrné průtoky (MQ) v létě jsou v kontrolních cyklech silněji podhodnoceny. Přesnou příčinu je třeba v rámci dalších prací ještě zjistit.



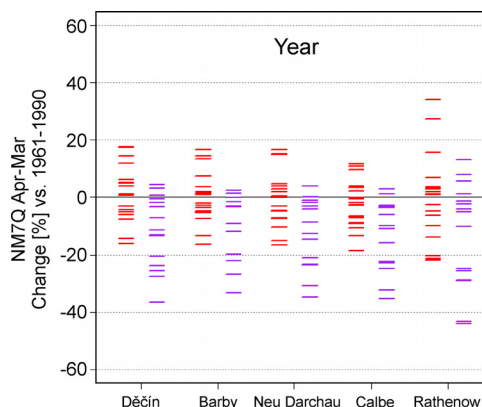
Obr. 7: Srovnání mnohaletých středních hodnot průměrného průtoku (MQ) rozděleně podle hydrologických pololetí a nejnižších průměrných 7denních průtoků (NM7Q) v hydrologickém roce mezi lety 1961-1990, vypočítaných z pozorovaných dat hlásných profilů (trojúhelník), a z dat profilů, která byla simulována za předpokladu pozorovaných hydrometeorologických dat (HYRAS; referenční cyklus; kroužek) a simulovaných hydrometeorologických dat (Tabulka 2; kontrolní cyklus; čárkovaně). Levé ordináty se vztahují vždy na profily na Labi, pravé ordináty na vedlejší toky Havolu a Sálu (viz mapa na Obr. 1).

Změny budoucích průtokových poměrů podmíněné klimatickou změnou (2021-2050 a 2071-2100)

Obrázky 8 a 9 ukazují výsledky souborů projekcí průtoků formou signálů změn průměrných průtoků a průtoků za nízkých vodních stavů na různých profilech v povodí Labe (viz Obr. 1). Jako ukazatel nízkých vodních stavů byl zvolen NM7Q, nejnižší aritmetický průměr průtoků za sedm po sobě následujících dnů. Pro každý modelový řetězec byly poměřovány příslušné 30leté průměrné hodnoty MQ a NM7Q pro dvě zkoumaná období budoucnosti (2021-2050 a 2071-2100) v poměru k referenčnímu období (1961-1990).



Obr. 8: Změny průměrného průtoku (MQ) rozdělené podle hydrologických pololetí v blízké budoucnosti (2021-2050, **červeně**), resp. vzdálené budoucnosti (2071-2100, **lila**) ve srovnání s obdobím let 1961-1990. Simulace pomocí rozšířeného hydrologického modelu HBV-D na základě souboru 18 řetězců klimatických modelů pro blízkou budoucnost a 15 řetězců pro vzdálenou budoucnost (srov. Tabulka 2) u vybraných profilů povodí Labe.



Obr. 9: Změny průtoků za nízkých vodních stavů (NM7Q) v hydrologickém roce. Zobrazeno analogicky k Obr. 8.

Rozptyl výsledků různých řetězců modelů je velký. Zvláště pro období "blízké" budoucnosti (2021-2050) se projevuje přibližně stejné množství pozitivních jako i negativních změn oproti referenčnímu období. Naproti tomu tenduje v případě scénářů pro "vzdálenou" budoucnost (2071-2100) větší část průtokových projekcí ke snížení průtoků za stavu sucha a ke snížení průměrných letních průtoků.

Koridory ve scénářích

Ukazuje se, že zde existuje značně široké pásmo jednotlivých projekcí průtoků. Avšak je také patrné, že některá hodnotová pásma se vyskytují v projekcích srovnatelně často, resp. některé projekce se zřetelně odchyľují od zbytku souborů. Vycházejí z tohoto konstatování se pokouší koncept nazvaný „koridory ve scénářích“ (NILSON & KRAHE 2012) vymezením horní, popř. dolní hraniční hodnoty postihnout podstatné charakteristiky multimodelového souboru. Koridory scénářů jsou definovány jako ty partie v rámci souboru, v nichž jednoznačná většina projekcí (70-80 %) vykazuje shluky (clustery). Příslušná hodnotová pásma jsou sestavena v Tabulka 3.

Tabulka 3

Koridory ve scénářích pro ukazatele průměrných a nízkých vodních stavů (MQ a NM7Q) na vybraných profilech v povodí Labe, na základě souboru 18 projekcí (2021-2050), popř. 15 projekcí (2071-2100). Oranžové podbarvení ukazuje, že většina projekcí vykazuje snížení průtoků; na šedé barvě je vyznačen nejednotný signál změn projekcí.

Parametry	Profily	Koridor scénáře	
		Změna [%] blízká budoucnost	Změna [%] vzdálená budoucnost
MQ [m³/s] Hydrologická zima (list.-duben)	Děčín (Labe)	-10 bis +10	-15 bis +10
	Barby (Labe)	-10 bis 0	-20 bis +10
	Neu Darchau (Labe)	-15 bis 0	-20 bis +10
	Rathenow (Havola)	-15 bis + 5	-25 bis +10
	Calbe (Sála)	-10 bis +10	-30 bis + 5
MQ [m³/s] Hydrologické léto (květen-říjen)	Děčín (Labe)	-20 bis + 5	-30 bis - 5
	Barby (Labe)	-15 bis + 5	-25 bis 0
	Neu Darchau (Labe)	-15 bis + 5	-25 bis 0
	Rathenow (Labe)	-20 bis +10	-30 bis + 5
	Calbe (Sála)	-15 bis + 5	-30 bis + 5
NM7Q [m³/s] Hydrologický rok (Apr-Mrz)	Děčín (Labe)	-10 bis +10	-30 bis 0
	Barby (Labe)	-10 bis +10	-30 bis 0
	Neu Darchau (Labe)	-10 bis + 5	-25 bis 0
	Rathenow (Labe)	-15 bis +10	-25 bis 0
	Calbe (Labe)	-15 bis +10	-25 bis - 5

Co se týče průměrných průtoků, projekce pro blízkou budoucnost předpokládají pro hydrologickou zimu převážně snížení, ovšem na trochu nižší úrovni. Pro vzdálenou budoucnost jsou signály převážně indiferentní. Pro hydrologické léto se nachází těžiště projekcí pro blízkou i pro vzdálenou budoucnost v negativním pásmu.

Průtoky za sucha nesignalizují pro blízkou budoucnost žádné robustní změny. Výsledky výzkumu vykazují variabilitu mezi cca +10 % a -10 %. Zřetelné snižování se však projevuje pro období vzdálené budoucnosti.

4 Shrnutí

V předkládaném výzkumu byl pořízen soubor projekcí průtoků pro vybrané profily v povodí Labe. Tento soubor bere v úvahu aktuální stav znalostí modelování klimatické změny a slouží jako podklad pro odvození scénářů budoucích průtoků zpracovaných pak formou koridorů.

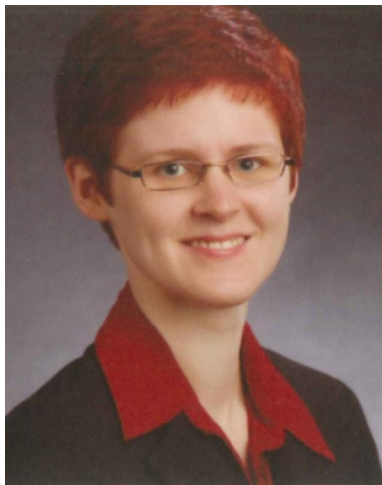
Pro odhad nejistot projekcí bylo uplatněno východisko multimodelů. Hlavní pozornost byla zaměřena na rozpoznání nejistot z důvodu rozdílných řetězců klimatických modelů. Konkrétně bylo použito 18 vhodných řetězců klimatických modelů. Přestože soubor multimodelů je nevyvážený (některé modely se používají častěji než jiné), vyplývá z toho, že toto východisko je bezpodmínečně nutné pro vyhodnocení výpovědí o budoucím vývoji vodního režimu v povodí Labe a pro odvození scénářů průtočnosti.

Jednoznačně se zjistilo, že existuje potřeba provádění dalšího výzkumu. Zvláště je třeba více osvětlit vliv různých schémat ve zpracovávání dat, různé modely hydrologické bilance ve spojení s různými východisky výpočtu výparu a jejich vzájemné působení s podzemní vodou. Je nutné provést tyto doplňky, aby bylo možné identifikovat, jak lze zařadit vědomostní potenciál o možném budoucím vývoji vodního režimu v povodí Labe prezentovaný zde a v jiných příspěvcích (CONRADT et al. 2012, HANEL et al. 2012, HATTERMANN et al. 2010), resp. k jakým poznatkům je možné vzhledem ke stávajícím datovým a modelově technickým výzvám vůbec dospět.

5 Použitá literatura

- BELZ, J. U. (2013): Änderungen des Abflussregimes im Elbeinzugsgebiet im 20. Jahrhundert: Beobachtungen als Schlüssel zur Simulation der Zukunft. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 13-24
- BERGSTRÖM, S. (1995), The HBV model, in Computer Models of Watershed Hydrology, Chapter 13, edited by Singh, V. P., pp. 443-476, Water Resources Publications.
- CONRADT, T., H. KOCH, F. F. HATTERMANN & F. WECHSUNG (2012): Spatially differentiated management-revised discharge scenarios for an integrated analysis of multi-realisation climate and land use scenarios for the Elbe River basin. Reg. Environ. Change. DOI 10.1007/s10113-012-0279-4.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. DVWK-Merkblatt 238/1996.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., HOHENRAINER, J. (2013): Wasserbewirtschaftung im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte und Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 65-82
- HANEL, M., A. VIZINA, P. MÁČA & J. PAVLÁSEK (2012): A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech Republic. J. Hydrol. Hydromech., 60, 2012, 3, 152-161. DOI: 10.2478/v10098-012-0013-4.
- HATTERMANN, F. F., S. C. HUANG, H. KOCH (2010): Simulation der Wirkung von Klimaänderungen und Klimamodellunsicherheit auf den Wasserhaushalt für deutsche Flusseinzugsgebiete. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.), 2010. Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. 258 S.
- KLEIN, B., I. LINGEMANN, E. NILSON, P. KRAHE, T. MAURER, H. MOSER (2012): Key concepts of climate change impact analyses for river basin management in the River Danube. River Systems Volume 20 Issue 1-2 (2012), p. 7 - 21. DOI: 10.1127/1868-5749/2011/0035
- KRAHE, P., E. NILSON, M. CARAMBIA, T. MAURER, L. TOMASSINI, K. BÜLOW, D. JACOB, H. MOSER (2009), Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen - Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 5/2009, 316-331.
- KRAHE, P. et al. (2013): KLIWAS-Schlussbericht Elbe. In Vorbereitung.

- LAUTENBACH, S. (2005): Modellintegration zur Entscheidungsunterstützung für die Gewässergütebewirtschaftung im Einzugsgebiet der Elbe. Dissertation. Universität Osnabrück.
- LENDERINK, G., T. A. BUISSHAND, W. VAN DEURSEN (2007a): Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach, *Hydrology & Earth System Sciences*, 11, 1145-1159.
- LINGEMANN, I. (2012): Faktenblatt HBV-D. Verfügbar unter:
http://geoportal.bafg.de/dokumente/kliwas/modelle/factsheets/factSheet_HBV-D_de.pdf.
(letzter Zugriff 19.04.2013)
- MAURER, T., E. NILSON & P. KRAHE (2011): Entwicklung von Szenarien möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss- und Wasserhaushaltskenngrößen in Deutschland, acatech Materialien Nr. 11, München.
- NILSON, E., C. PERRIN, J. BEERSMA, M. CARAMBIA, P. KRAHE, O. DE KEIZER, K. GÖRGEN (2010): Evaluation of data and processing procedures. In: Görgen K, Beersma J, Brahmer G, Buiteveld H, Carambia M, de Keizer O, Krahe P, Nilson E, Lammersen R, Perrin C, Volken D (2010) Assessment of climate change impacts on discharge in the Rhine. River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project. CHR Report No. I-23. pp. 51-95. Verfügbar unter: http://www.chr-khr.org/files/CHR_I-23.pdf.
- NILSON, E. & P. KRAHE (2012): Zum Transfer der Unsicherheiten von Abfluss-Projektionen des 21. Jahrhunderts in den politisch-administrativen Raum. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 31. 287-293.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. MAZURKIEWICZ & A. GRATZKI (2013): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins – Part I: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results, *Meteorolog. Z.*, submitted.
- SKOŘEPA, J. (2013): Notwendigkeit der Bewertung von Folgen des Klimawandels für die Wasserbewirtschaftung. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 102-107
- VAN DER LINDEN P. AND J. F. B. MITCHELL (2009): ENSEMBLES - Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 S. Verfügbar unter: http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf.



Kontakt:

Imke Lingemann

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5983
Fax: 0261/ 1306 5080
E-Mail: lingemann@bafg.de

2002-2008

Studium Aplikovaných ekologických věd na
univerzitě v Trevíru (Trier)

2008-2010

Zaměstnána jako hydroložka v projektové kanceláři
Ludwig pro vodní hospodářství a vodní stavby
v Karlsruhe

Od r. 2010

Vědecká pracovnice Spolkového ústavu hydrologie

Zpracování projektu:

2010-2011: ECCONET – Effects of climate
change on the inland waterway
networks

2011-2012: KLIWAS ELBE – Dopady
klimatické změny na vodní cesty a
lodní dopravu

Seamless Prediction – Kvantifikace a
redukce nejistot pro krátkodobé,
střednědobé a dlouhodobé
předpovědi

Dopady změny klimatu na hydrologickou bilanci a možná adaptační opatření v České republice

Martin Hanel, Ladislav Kašpárek, Magdalena Mrkvičková

1 Úvod

Následující příspěvek podává informaci o výsledcích modelování dopadů změn klimatu na hydrologický režim v České republice a rámcovém vyhodnocení možných adaptačních opatření pro zmírnění negativních důsledků těchto změn, jenž byly získány převážně v rámci projektu „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“.

Vyhodnocení dopadů změn klimatu je obecně zatíženo značnou nejistotou a výsledky tohoto vyhodnocení podstatně závisí (mimo jiné) na použitých scénářích změn klimatu, kterých je v současnosti k dispozici nepřeberné množství. V druhé části článku proto představíme projekt, který si klade za cíl vytvoření rámce pro srovnání výsledků jednotlivých studií v podobě tzv. referenčních scénářů změn klimatu.

2 Očekávané dopady změny klimatu na hydrologický režim

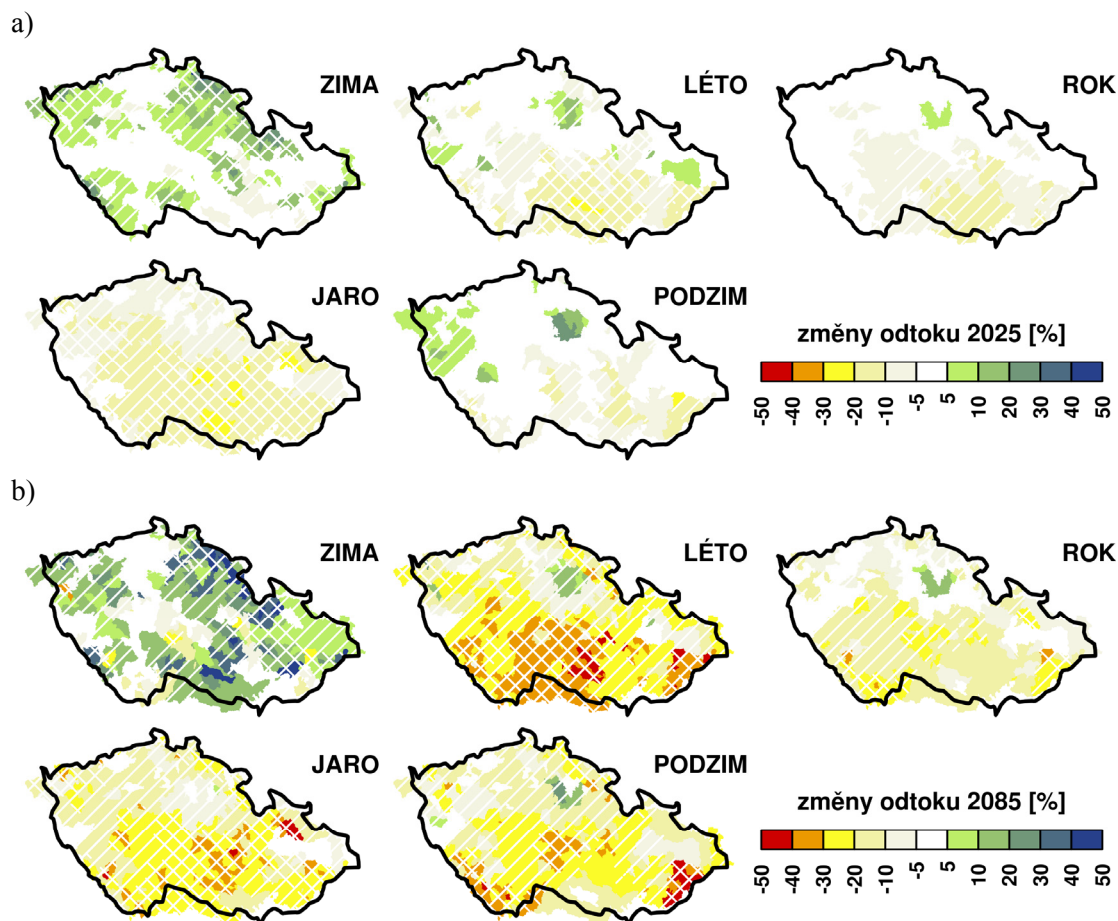
Dopady změny klimatu na hydrologický režim byly modelovány pomocí scénářů změn klimatu vytvořených na základě 15 simulací regionálních klimatických modelů z projektu ENSEMBLES. Hydrologický model Bilan byl nakalibrován pro 250 povodí různých velikostí. Hydrologická bilance byla modelována pro současné podmínky a podmínky klimatické změny dle všech uvažovaných simulací regionálních klimatických modelů.

Následně byly odvozeny změny vybraných ukazatelů hydrologické bilance a jako střední odhad těchto změn byl dále uvažován průměr nebo medián změn ze sady modelů.

Posuzovány byly změny mezi obdobími 1961-1990 a 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099. Tyto časové horizonty jsou dále označovány pomocí jejich středů jako 2025, 2055 a 2085.

Základní podstata možných změn hydrologické bilance na našem území je známa již řadu let. Vyplývá z projekcí srážek a teplot pro Evropu, tj. postupné zvyšování teplot během celého roku a pokles letních, růst zimních a stagnace ročních srážek (CHRISTENSEN et al. 2007). Poloha České republiky v oblasti přechodu mezi předpokládaným růstem srážek na severu a jejich poklesem na jihu Evropy přispívá k nejistotě odhadu změn roční bilance srážek, respektive odtoku a ostatních složek hydrologického cyklu. Nerovnoměrné rozložení projektovaných změn srážek během roku patří mezi jevy společné pro velkou řadu simulací klimatických modelů. Princip změn hydrologické bilance může být shrnut následovně:

V období od začátku podzimu do začátku léta dochází k růstu srážek, jenž je doprovázen řádově stejným růstem aktuální evapotranspirace způsobeným růstem teplot. V letním období dochází k poklesu srážek a v důsledku úbytku zásob vody v povodí nemůže docházet k výraznému zvyšování aktuální evapotranspirace. Důležitým faktorem ovlivňující změny odtoku je posun doby tání v důsledku vyšší teploty přibližně z dubna na leden-únor. Změny odtoku v období leden-květen jsou tedy dominantně určeny právě odlišnou dynamikou sněhové zásoby, změny v letním období zejména úbytkem srážek.



Obr. 1: Průměrné změny odtoku v souboru klimatických modelů pro časový horizont 2025 (a) a 2085 (b); pomocí šrafování jsou znázorněny oblasti, pro které se 2/3 (jednoduché šrafování), resp. 90 % (dvojitě šrafování) simulací klimatických modelů shodně na znaménku změny.

Průměrné změny odtoku z uvažované sady regionálních klimatických modelů pro jednotlivá roční období pro časové horizonty 2025 a 2085 jsou uvedeny na Obr. 1. Změny odtoků jsou konzistentní pro všechny časové horizonty – zpravidla můžeme konstatovat růst odtoků v zimním období a jejich pokles po zbytek roku a pro velkou část našeho území i v roční bilanci. K větším poklesům zpravidla dochází v jižní polovině našeho území. Mírně se vymyká nejbližší časový horizont (Obr. 1a), pro který se i v letním období a na podzim vyskytují povodí, na kterých odtoky stagnují, případně výjimečně dokonce rostou. V roční bilanci tak můžeme pro toto období očekávat stagnaci odtoků v severní a západní části našeho území a pokles (většinou do 10 %) v jižní a jihovýchodní části republiky. Pro časové horizonty 2055 a 2085 (jež jsou do značné míry srovnatelné, proto ilustrujeme výsledky

pouze pro vzdálenější období na Obr. 1b) je možno jasně rozlišit období růstu odtoků v zimě (většinou 5-10 %, místy až 20 %) a poklesu v ostatních obdobích, nejvíce v létě (20-40 %), v roční bilanci zpravidla 5-20 %). Na Obr. 1 jsou zároveň šrafováním vyznačena povodí, pro která se 9 (jednoduché šrafování) respektive 12 (dvojitě šrafování) simulací klimatických modelů shodne na znaménku změny. Je evidentní, že zejména změny roční bilance odtoku jsou pro všechny časové horizonty na většině území relativně nejisté.

3 Možná adaptační opatření

Adaptační opatření vedoucí k předcházení a zmenšení negativních dopadů změn klimatu jsou založena buď na zmenšování požadavků (na vodní zdroje, zábor půdy apod.) nebo zmenšování účinků (kompenzace nedostatku vodních zdrojů, protipovodňová opatření). Na evropské úrovni byla vypracována řada více či méně podrobných katalogizací možných adaptačních opatření. Nicméně ne všechna z možných adaptačních opatření jsou vhodná a aplikovatelná na území České republiky. V rámci projektu „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ byl proto vypracován přehled zásadních adaptačních opatření, jež je možno uvažovat pro naše podmínky. Podrobně tato opatření rozvádí a shrnuje HANEL et al. (2011).

V rámci projektu byla pozornost věnována zejména možnostem zmírnění dopadů klimatické změny na průtoky, zmírnění dopadů v krajině (např. zvýšení přímého odtoku, vodní a větrné eroze), snížení ohrožení odběrů vody, zmírnění rizika zhoršení kvality vody atp.

Z možných adaptačních opatření lze uvažovat zejména opatření v krajině (podpora plošné rozmanitosti v rámci komplexních pozemkových úprav, podpora zalesnění a zatravnění, omezení plodin, pod nimiž se vytváří nepropustná krusta, např. kukuřice, změna osevních postupů na ty, které podporují infiltraci atp.), opatření na tocích a v nivě (úpravy řečišť zpomalující odtok vody a zlepšující komunikaci s přípovrchovou zvodní, uvolnění nivy pro rozlivy), opatření v urbanizovaných územích (zvýšení infiltrace dešťové vody, jímání a využívání srážkových vod), obnova starých či zřízení nových vodních nádrží, zefektivnění hospodaření s vodními zdroji, zhodnocení a přerozdělení kapacit vodních zdrojů, zmenšení spotřeby vody, dokonalejší čištění odpadních vod.

Význam opatření v krajině spočívá zejména ve zlepšení vodního režimu krajiny a zmenšení povodňového odtoku z přívalových povodní a s tím spojených negativních jevů (např. eroze). Na druhou stranu, lepší uplatnění vody v krajině vede ke zvětšení územní evapotranspirace, takže na odtok ze srážek v období sucha zůstane vody méně. Pro zvětšení průtoků a zásob podzemní vody v období hydrologického sucha nemají reálně proveditelná opatření v krajině (zejména vzhledem k rozloze pozemků, na nichž je možno tato opatření realizovat) tedy znatelný význam. Podobně i opatření na toku a v nivě mají vliv zejména na snížení odtoků za povodní, jejich význam pro zlepšení hydrologických podmínek v období sucha je marginální. Velký potenciál z hlediska opatření vedoucích ke zmírnění dopadů hydrologického sucha mají zejména vodohospodářská opatření různých typů a to jak opatření již známá a využívaná (využití vodních nádrží, převodů vody), tak opatření, jejichž efekt je sice slibný, nicméně doposud nebyl komplexně kvantifikován (recyklace průtoků, řízené vícenásobné využití vody). Z hlediska snížení odtoku z urbanizovaných území nelze pominout potenciál jímání a

následného užití dešťových vod. Prostředky racionalizace využívání a ochrany vodních zdrojů je nutné spatřovat i v legislativních opatřeních a snižování požadavků na odběr vody.

Každé z vybraných adaptačních opatření je aplikovatelné a má dostatečnou účinnost za jiných podmínek. Mezi zásadní omezení účinnosti/realizovatelnosti adaptačních opatření patří zejména problémy s řešením majetkoprávních vztahů, omezení přírodními podmínkami (např. srážko-odtokovými poměry, ale i hydrogeologií apod.), nevhodná morfologie koryta a velikost plochy, na které je možno realizovat adaptační opatření. Stejně tak není možné obecně kvantifikovat finanční náročnost jednotlivých opatření či jejich kombinace a je nutné každý jednotlivý návrh adaptačních opatření posuzovat samostatně.

4 Referenční scénáře změn klimatu

Mezi jednotlivými klimatickými scénáři existují významné rozdíly, a to pochopitelně nejen absolutně, ale i ve smyslu předpokládané změny (trendu i velikosti) základních klimatických prvků a jejich časoprostorové variability. Prezentace jednoho, či několika scénářů tak v podstatě neumožňuje vzájemné porovnání studií (návrhů) odvozených v různých dobách nebo v různých lokalitách. Řešením může být vytvoření referenčního scénáře (či scénářů) pro vodohospodářské účely umožňujícího vzájemné porovnávání výsledků vyhodnocení dopadů změn klimatu v prostoru a čase umožnilo.

Tvorbu takových referenčních scénářů si (mimo jiné) klade za cíl projekt „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“. Cílem projektu není vytvářet další simulace klimatických modelů, ale z dostupných simulací vybrat simulace reprezentativní (pro střední, více negativní a méně negativní dopady). Podkladem jsou simulace regionálních klimatických modelů (ALADIN-CLIMATE/CZ a modely z projektu ENSEMBLES), což implikuje prostorové rozlišení cca 25 km × 25 km. Scénáře budou připraveny pro třicetiletá období se středy v letech 2025, 2035, ... 2085.

Kromě referenčních scénářů vznikne metodika pro tvorbu scénářů změn klimatu a jejich využití ve vodním hospodářství i webová aplikace umožňující odvození těchto scénářů pro libovolné lokality a poskytující informace o dopadech změn klimatu na základní meteorologické veličiny a hydrologický režim ve vybrané sadě cca 150 povodí. Pilotní verze portálu bude zprovozněna v druhé polovině roku 2013 tak, aby relevantní informace o dopadech klimatické změny byly dostupné pro případné zájemce v souvislosti s druhým kolem plánování dle Rámcové směrnice o vodní politice.

5 Závěr

Posouzení dopadů změn klimatu na hydrologický režim je nedílnou součástí plánování v oblasti vod. Tomu odpovídá i značná pozornost věnovaná této tematice během posledních desetiletí. Nicméně nejistoty spojené s modelováním těchto dopadů jsou značné a ne vždy zcela zřejmé. Z toho důvodu považujeme za nezbytné zpřístupnit širší odborné veřejnosti a institucím zapojeným do vodohospodářského plánování výsledky posouzení dopadů změn klimatu na vodní bilanci včetně nejistot, spolu s metodikami odvození těchto dopadů i daty na nichž je (nebo může být) toto odvození založeno.

Poděkování

Príspevek vznikl v rámci řešení projektu „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“ (TA02020320), který je podporován Technologickou agenturou ČR a využívá výsledky projektu VaV „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ (SP/1a6/108/07).

Literatura

- CHRISTENSEN, J. H., B. HEWITSON, A. BUSUIOC et al. (2007): Regional Climate Projections. In SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K., TIGNOR, M., MILLER, H., eds., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK a New York, USA.
- HANEL, M., L. KAŠPÁREK, M. MRKVIČKOVÁ (2011): Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský, T. G. Masaryka, 108 s.

Kontakt:

Martin Hanel

Výzkumný ústav vodohospodářský
T. G. Masaryka
Podbabská 30
160 00 Praha
Česká republika
Tel.: +420 220 197 404
E-Mail: hanel@vuv.cz

2002-2007

Studium Krajinné inženýrství – Environmentální modelování, Česká zemědělská univerzita v Praze

2007-2009

Výzkumný pracovník, Královský nizozemský meteorologický institut, De Bilt, Nizozemí

Od 2009

Výzkumný pracovník, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, ČR

Odborný asistent, Česká zemědělská univerzita v Praze, ČR

Významné projekty:

2007-2009: ENSEMBLES

2009-2011: WATCH

Nakládání s vodami a klimatická změna v německém povodí Labe – data, koncepce a modely zobrazené na příkladu řeky Havoly

Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach a Jochen Hohenrainer

Úvod

Cílem nakládání s vodami je optimální rovnováha mezi dostupnou zásobou vod a spotřebou vody podle jejího množství a kvality. O co vyšší jsou požadavky uživatelů (spotřeba vody) a nižší přírodní zásoby vody, o to větší význam má způsob nakládání s vodami. V německém povodí Labe lze pozorovat značné regionální rozdíly mezi dostupnou zásobou vody a spotřebou.

Jedním z jednoduchých ukazatelů pro přiblížení těchto regionálních rozdílů je **dostupnost vody** (nazývána také Falkenmarkův index), jímž se vyjadřuje vztah přírodních zásob vody (vyjádřených jako výše odtoků) na obyvatele. FALKENMARK & WIDSTRAND (1992), hovoří o nedostatku vody tehdy, je-li dostupnost vody pod hranicí 1.000 m³ vody na obyvatele a rok.

Spolkový ústav hydrologie vypočítává dostupnost vody pro šest německých dílčích povodí přítoků Labe s územní plochou přesahující 2 000 km² (Sála, Havola, Molde, Černý Halštrov, Ilmenau, Sude; sestupné pořadí podle velikosti dílčího povodí, viz také Tabulka 1). K tomu byly zjišťovány několikaleté průměrné výše odtoků $\bar{R} = \bar{P}_{kor} - \bar{ET}_a$ (mit \bar{P}_{kor} jako průměrné korigované výše srážek; \bar{ET}_a jako průměrné skutečné množství výparu pro období 1961-1990 (Hydrologický atlas Německa 2003, dále HAD), a k tomu byla vztažena definice dostupnosti vody na počty obyvatel (rok 2010, statistické údaje z roku 2010). Výsledky jsou zobrazeny v Tabulka 1.

Ze sledovaných šesti dílčích povodí vykazuje povodí Havoly s odstupem nejnižší dostupnost vody (~ 410 m³ na obyvatele a rok) a je tímto podle definice autorů FALKENMARK & WIDSTRAND (1992) mezi zkoumanými přítoky jedinou oblastí s nedostatkem vody.

Pro tuto situaci je možné uvést následující důvody:

- > Oblast Havoly se vyznačuje jednak nízkým průměrem ročních srážek (620 mm/rok, 1961-1990, HAD 2003) a velkou výší ročního průměrného potenciálního výparu (cca 600 mm/rok, 1961-1990, HAD 2003), výpočet podle metody Turc-Ivanov). Průměrná roční klimatická vodní bilance jako difference průměrné roční korigované výšky srážek a průměrné roční potenciační výšky výparu znamená tedy přibližně 20 mm/rok. Při sledování delšího a skutečného období mezi lety 1951 až 2006

vyplyne tedy klimatická vodní bilance (na podkladě datového souboru HYRAS (RAUTHE et al. 2011)) pro dílčí povodí Sprévy cca -15 mm/rok a pro zbytkovou oblast Havoly cca -28 mm/rok (viz také EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012b). V obou obdobích byla zjištěna malá hodnota pro klimatickou vodní bilanci pro dílčí povodí Havoly, která se z důvodu výběru období a rozdílných databází poněkud liší. Pro srovnání: klimatická vodní bilance na pobřeží Severního moře vykazuje cca 300 mm/rok (Německá meteorologická služba, DWD 2001).

- > Ačkoli velké části dílčího povodí Havoly vykazují jen nízkou hustotu obyvatel, existuje zde díky aglomeraci Berlína značná zátěž na spotřebu vody.

Tabulka 1

Dostupnost vody v šesti německých dílčích povodích přítoků Labe s územní plochou přesahující 2 000 km². Mnohaleté roční průměry mají základ ve výsledcích atlasu HAD (2003). Počty obyvatel odpovídají údajům z roku 2010. Patrné jsou zde regionální rozdíly.

Dílčí povodí	Velikost povodí km ²	~ Korigované srážkové úhrny mm/ a 1961-1990	~ Skutečné výšky výparu mm/a 1961-1990	~ Množství průtoků mm/ a 1961-1990	~ Počet obyvatel - 2010	~ Dostupnost vodních zdrojů (Falkenmark-Index) m ³ / počet obyvatel * rok
Havola*	24 297	620	530	90	5 378 000	410
Sála**	24 079	690	520	170	3 958 000	1035
Molda**	7 400	820	520	300	1 577 000	1410
Černý Halštrov**	5 704	660	550	110	593 000	1060
Ilmenau**	2 852	750	530	220	262 000	2400
Sude**	2 253	690	510	180	110 000	3690

* Vodočet Havelberg, ** Údaje MKOL, měřeno na ústích řek (2005) str. 6

Jako shrnutí lze tedy konstatovat, že zvláště v oblasti Havoly existuje nízké množství přírodních vodních zásob a oproti tomu vysoká spotřeba vody. Vyplývá z toho, že zde hraje způsob nakládání s vodami opravdu velkou roli. Právě tak je zřejmé, že určení jak potenciálního tak i skutečného výparu má o to větší význam pro průtoky, o co více jsou srážky a výpar v rovnováze.

Zde představovaná všeobecně platná koncepce, která je přenositelná na každé dílčí povodí a je zaměřena na řešení vodohospodářských otázek, (dopady nakládání s vodami a dopady klimatické změny na vodní režim v antropogenně silně ovlivněném povodí Havoly) se člení na tři stupně, které zde zároveň obrázejí členění tohoto článku:

1. Systémová a procesní analýza
2. Výběr a struktura modelů (se zaměřením na model nakládání s vodami)
3. Aplikace modelů

Tento článek zaměřuje pozornost na oba modely nakládání s vodami, a to na **BEWASYS Rhein-Oder** (BEWASYS Rýn-Odra), (struktura modelů, kontrola proveditelnosti a aplikace viz EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011), a modelu **WBalMo Havel-Spree (WBalMo Havola-Spréva)**, (kontrola proveditelnosti a struktura modelů viz KALTOFEN et al. 2012a), které budou podrobněji pojednány ve 2. kapitole.

Pro lepší čtenářské pochopení je třeba již na tomto místě reagovat na hydrologické průvodní podmínky (viz následující body a) a b)) pro oba modely:

- (a) sledované nebo stochasticky ze sledování vygenerované **časové řady vodohospodářsky upravovaných průtoků** pro popsání antropogenně charakterizovaného horního toku zkoumané oblasti, kterou ovlivňují přítoky z externích dílčích povodí a/nebo
- (b) sledované nebo nepřímo stochasticky vygenerované **kvazi-přírodní časové řady průtoků** pro popsání povrchových přítoků uvnitř zkoumané oblasti.

Nepřímo vygenerované stochastické kvazi-přírodní časové řady průtoků (případ b) jsou zpravidla výsledkem modelování vodního režimu, který si vyžaduje jako průvodní podmínku opět stochastické meteorologické časové řady. Tímto způsobem nepřímo stochasticky vygenerované kvazi-přírodní časové řady průtoků jsou potřeba tehdy, když je nelze přímo vyvodit ze sledovaných kvazi-přírodních (nebo naturalizovaných) průtoků, anebo když se provádějí například podle sledování z klimatických scénářů.

Šetření ke zde prezentovaným dopadům klimatické změny na vodní režim v antropogenně utvářené oblasti Havoly pomocí modelu WBalMo Havel-Spree jsou centrem pozornosti v kapitole 3 (třetí stupeň koncepce „Aplikace modelu“). Byl zde zvolen následující řetězec modelů (viz k tomu také KALTOFEN et al. 2012b):

- (1) SIKO/SIMO¹ (SIKO/SIMO, 2001) jako simulační model pro vygenerování (stěžejních) stochastických meteorologických měsíčních hodnotových řad,
- (2) EGMO-D² (GLOS 1984) jako model vodního režimu, který transformuje časové řady vytvořené v (1) do stochastických, kvazi-přírodních měsíčních řad průtoků a
- (3) WBalMo³ Havel-Spree jako vodohospodářský model, který implementované nakládání s vodami konfrontuje s časovými řadami vytvořenými v (2) a tím ve výsledku generuje stochasticky obhospodařované řady průtoků.

WBalMo Havel-Spree se skládá z různých modelových součástí pro příslušná dílčí povodí (Spréva-Černý Halštov; Havola; přítoky Havoly Nuthe, Plane, Buckau, Dosse-Jäglitz; Berlín). Pro simulační výpočty pomocí modelu WBalMo Havel-Spree byly použity parametrizované a správami povodí odosouhlasené modely spolkových

¹ SIKO/SIMO je vícerozměrný autoregresní model pro generování mnohaletých syntetických měsíčních hodnotových řad meteorologických a hydrologických veličin.

² EGMO-D (GLOS 1984) je vícesložkový model, který byl koncipován speciálně pro delší časové kroky.

³ WBalMo je simulační systém pro hospodářské a rámcové plány povodí. www.dhi-wasy.de

zemí. Modely daly k dispozici spolkové země Sasko, Braniborsko a Berlín. Byly uzavřeny příslušné uživatelské dohody (modelový systém Spréva/Černý Halštov uzavřel dohodu s pracovním kroužkem „Vodní zásoby“ správy dílčího povodí Spréva/Černý Halštov (BfG 2010a), a pro ostatní části Havoly existují dohody se spolkovou zemí Braniborsko (BfG 2010b)).

1 Systémová a procesní analýza pro výzkumy v oblasti Havoly

Systémová a procesní analýza se členila na další body týkající se rešerše literatury, pořízení dat, jejich zpracování a vyhodnocení, a na závěr na procesní analýzu na základě sledovaných dat.

Na základě **publikací** a **map** byl proveden první popis vodohospodářského systému. Cílem této rešerše bylo podchycení:

- (1) hydrologických poměrů (například průtoky a vodní stavy)
- (2) meteorologických poměrů (například srážky a výpar) a
- (3) parametrů vodohospodářských systémů (například pro uživatele vodních zdrojů jako je povrchová těžba uhlí, vodohospodářská správa vodních nádrží, zásobování pitnou vodou a likvidace odpadních vod).

To umožnilo první hodnocení významu vlivových veličin pro řešení otázek vodního hospodářství (srov. úvod). Jako výsledek rešerše literatury se začala provádět **cílená akvizice dat** u příslušných správních orgánů.

Po získání dat následovalo zpracování a vyhodnocení dat co do jejich relevance pro účely vodního hospodářství. Tato **procesní analýza** obsahovala statistický průzkum různých meteorologických a hydrologických dat a dat uživatelů, která jsou relevantní pro vodohospodářský systém.

Jako výsledek analýzy uživatelských dat bylo možné například odhadnout a částečně kvantifikovat **význam jednotlivých opatření** nebo jejich součinnost pro nakládání s dostupnou zásobou vody. Tyto informace jsou nutné pro následující aplikace:

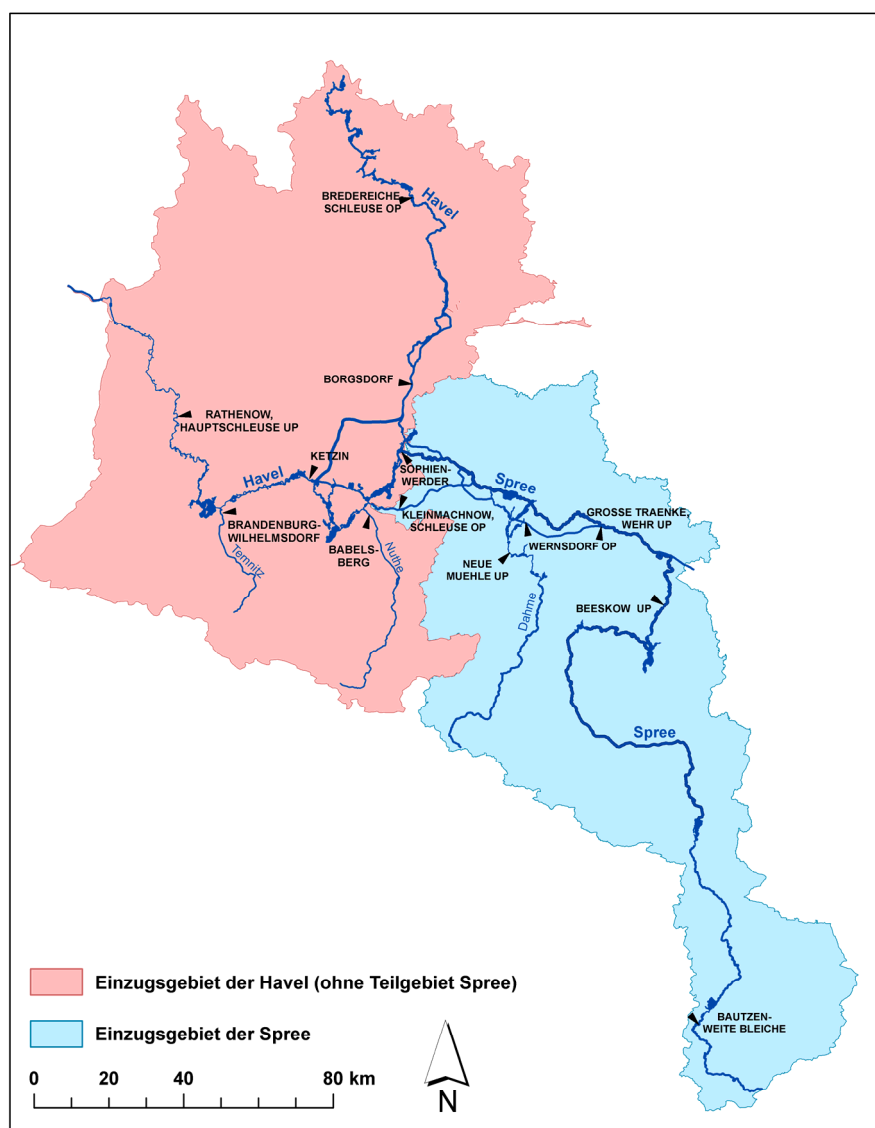
- > **Kalibrace/validace** modelu vodního režimu EGMO-D pro simulace kvazi-přírodních průtoků:
K tomu jsou nutné kvazi-přírodní průtoky nebo průtoky očištěné o druhy využívání vody. Pro detailní informace o naturalizaci zde odkazujeme na příslušnou literaturu (například KOCH et al. 2010).
- > **Stanovení scénářů pro změny ve využívání vody** za účelem průzkumů dostupných vodních zásob v budoucnosti a očekávaných změn (viz také Tabulka 3).

Ve shrnutí vedla procesní analýza pro oblast Havoly k následujícím výsledkům: aktivní povrchová těžba hnědého uhlí a nakládání s vodami zatopených povrchových dolů v Lužici, ve vodních přehradách a nádržích v dílčím povodí horní Sprévy, spotřeba vody ze strany

průmyslu, elektráren a zemědělství mají největší vliv na hydrologickou bilanci Sprévy a dolního toku Havyly. Horní tok Havyly je ovlivňován režimem jezer z Meklenburské jezerní plošiny.

Povodí Sprévy (společně s vybranými profily) a oblast dolního toku Havyly (vodní cesta Dolní Havola), reprezentovaná profily v obcích Ketzin a Rathenow, jsou zobrazeny na Obr. 1.

Detailní diskuse o výsledcích procesní analýzy a zvolená metodika analýzy dat (těžištěm jsou statistické průzkumy homogenity a trendů) jsou detailně popsány ve zprávě BfG 1777, dílčí zpráva 1 (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012b).



Obr. 1: Vybrané profily v povodí Havyly a Sprévy (převzato z EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012b). Uvedené profily slouží pro orientaci v popisu výsledků v kapitole 3.

2 Výběr modelu nakládání s vodami podle dané problematiky vodního hospodářství

Modely nakládání s vodami slouží pro simulaci antropogenních vlivů na vodní toky. V tomto vodohospodářském modelu se druhy využívání vod (kvantitativní údaje k vypouštění a odběrům vody a matematické algoritmy pro zobrazení režimu vodních nádrží, nastavení jezů nebo režim čerpadel) konfrontují s kvazi-přírodní zásobou vody. **Kvazi-přírodní zásobu vody** jako **hydrologickou průvodní podmínku** (viz také text v úvodu) lze odhadnout na základě sledovaných průtoků (které je třeba příp. očistit o údaje ve využívání vodních zdrojů), nebo na základě stochasticky simulovaných průtokových řad.

Podle dané vodohospodářské problematiky je možné použít různé detailní typy modelů. V následujících řádcích se chceme blíže věnovat dvěma modelům nakládání s vodami s názvem BEWASYS a WBalMo:

- > **Model BEWASYS je založen na bázi měřených denních hodnot a je určen pro kanálové trasy a říční zdrže (nádrže)**

Pomocí modelu **BEWASYS** (Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Systeme⁴ - Nakládání s vodami ve vodohospodářských systémech) se bilancují především umělé vodní toky nebo toky ve zdrži (čili kanálové průplavy a říční nádrže) v denních časových krocích. Model byl vytvořen pro síť spolkových, čili hlavních vodních cest mezi Rýnem a Odrou a zahrnuje tak i nádrže nacházející se na vodní cestě Havola-Odra (například Špandava u Berlína), na vodní cestě Dolní Havola (například zdrže u měst Brandenburg, Bahnitz) a na vodní cestě Spréva-Odra (např. zdymadla Mühlen-damm, Charlottenburg v Berlíně). Detailní informace lze získat ve zprávě uveřejněné v r. 2011 o modelu BEWASYS Rýn-Odra (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2011).

Řízení kanálových toků nebo říčních zdrží se provádí v modelovém systému při zachování průměrného stavu vody (popř. příslušného průměrného objemu vody). K deficitům dochází tehdy, když je průměrný objem ve zdrži podkročen. V tomto případě se deficit pomocí čerpadel vyrovnává, až se dosáhne průměrného objemu. Prostřednictvím postprocesovaných dat je možné vypočítat příslušné náklady na provoz čerpadel. Když je průměrný objem vody překročen, dojde k nadbytku vody. V tomto případě se voda se pomocí odvodňovací strouhy nebo přepadového zařízení z nádrže odvádí.

Průvodní podmínky pro tento model jsou (v aktuální modelové verzi) kontinuální, denní, regulované a sledované průtoky a sledované meteorologické časové řady. Pro **parametrizaci modelu** je pak třeba získat údaje jako např. stavy vody či zadržované objemy pro kanálové úseky, přítokové poměry s příslušným spádem pro říční nádrže a údaje o geometrii nádrží (délka, šířka, povrch, počet zdymadel apod.).

⁴ Modelový systém BEWASYS (Bewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Systeme), vypracovaný v Ústavu pro rozvoj vod a vodních toků (Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung, IWG) při Ústavu technologie z Karlsruhe a Svazu Porúří, rozvíjel pak dále v době od r. 2007 do 2009 ústav IWG z pověření Spolkového ústavu hydrologie (BfG).

Nevýhodou při použití hydrologických a meteorologických sledovaných dat jako vnějších průvodních podmínek je jejich omezená reprezentativnost, protože dostupné zásoby vody odhadnuté jen podle sledovaných dat znamenají jen malý výsek z hydrologického komplexu (LOUCKS & VAN BEEK 2005). Znamená to, že výzkum pomocí tohoto modelu například k dopadům změněných průvodních podmínek provozu kanálového systému by byl reprezentativní jen pro období namátkových kontrol, ne však v celé šíři, takže simulované výsledky a jejich vyhodnocení nemají zvláště pro extrémní (mimořádné) hodnoty žádnou výpovědní hodnotu. Tento deficit lze odstranit pomocí stochasticky vygenerovaných průtokových řad (aktuální výzkumný projekt BfG s dobou trvání 2012 až 2014).

> **Model měsíčních hodnot WBalMo pro hospodářské plány a rámcové plány dílčích povodí**

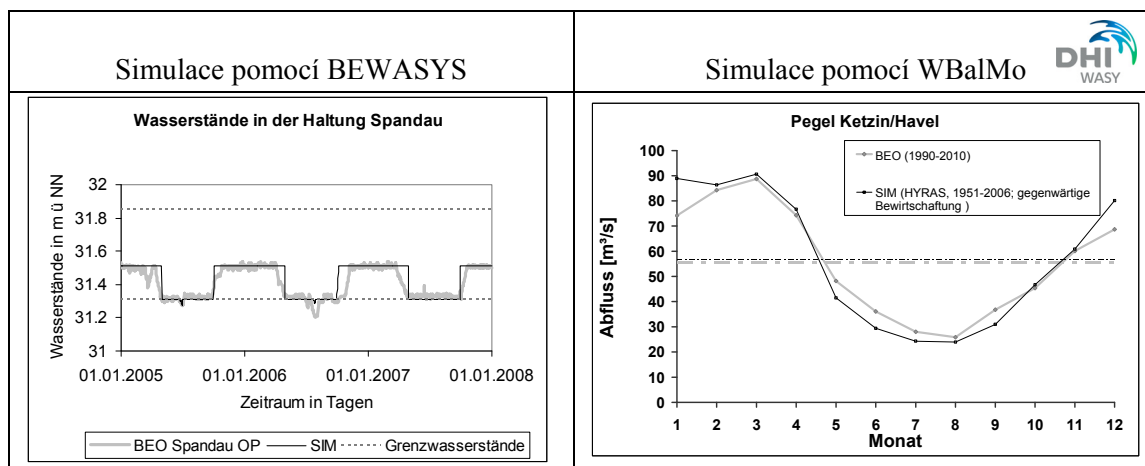
Dalším vodohospodářským modelem pro dlouhodobé simulace je model WBalMo⁵ (water balance model), simulační systém pro hospodářské plány a rámcové plány dílčích povodí. Modelový systém pro oblast Havoly aktualizovala a dále zpracovávala firma DHI-WASY z Drážďan, z pověření Spolkového ústavu hydrologie (BfG) v době od r. 2010 do 2012. Základ tvořily modely zpracované příslušnými úřady spolkových zemí Sasko, Braniborsko a Berlín, které je daly k dispozici. Pro další, detailnější informace zde odkazujeme na příslušnou literaturu (Kaltofen et al. 2012a, 2012b).

Jako **průvodní podmínka** zde slouží stochasticky generovaná kvazi-přírodní, popř. vodohospodářsky dostupná zásoba vody (a to z oblasti ležící nad a mimo prostor průzkumu). Vodohospodářské využití je zde uváděno v měsíčních průměrných hodnotách a ty jsou porovnávány s kvazi-přírodním množstvím zásob vody v časových krocích jednoho měsíce. V projektu Havola bylo provedeno generování stochastických meteorologických řad pomocí stochastického simulačního modelu SIKO/SIMO, které pak byly pomocí modelu vodního režimu EGMO-D transformovány do stochastických průtokových řad (viz k tomu také informace v úvodu).

Pro parametrizaci bude nutné mít k dispozici m.j. **parametry** pro rozdělení průtoků na zdymadlech a algoritmy o manipulačním režimu nádrží.

Po vytvoření modelu nakládání s vodami následuje kontrola kvality modelu. Tu lze provést pomocí vizuálního srovnání sledovaných a simulovaných dat a/nebo pomocí kontroly dříve stanovených měřících prvků kvality. V Obr. 2 je vždy pro oba vodohospodářské modely zobrazeno srovnání simulovaných a sledovaných dat.

⁵ WBalMo (water balance model): Simulační model pro hospodářské plány a rámcové plánování povodí řek. www.dhi-wasy.de



Obr. 2: Srovnání simulovaných dat (SIM) a sledovaných dat (BEO) pro odhad kvality vodohospodářských modelů. Vlevo: Srovnání simulovaných vodních stavů ve vzdutí u Špandavy (vodní cesta Havola-Odra) a empirických sledování. Vpravo: srovnání simulovaných vodohospodářsky řízených průtoků na profilu Ketzin (vodní cesta Dolní Havola) s hlavními hydrologickými údaji mezi lety 1990 až 2010. Základem simulací pomocí metody WBalMo je modelový řetězec: stochastický model SIKO/SIMO → model vodního režimu EGMO-D → vodohospodářský model WBalMo Havola-Spréva.

V levém Obr. 2 jsou konfrontovány simulované denní vodní stavy s pozorovanými (průměrnými) stavy pomocí modelu BEWASYS v období od ledna 2005 do prosince 2008 na bodě vzdutí v říční zdrži Špandava. Normální stav vody vykazuje výraznou sezonní roční periodicitu, kterou lze simulací dobře zobrazit. V pravém Obr. 2 jsou pomocí modelu WBalMo simulované mnohaleté průměrné měsíční hodnoty a průměrné roční hodnoty na profilu Ketzin. Totožnost mezi pozorovanými a simulovanými daty je velmi dobře patrná na úrovni roku. Na měsíčních hodnotách v letních měsících vykazuje však simulace lehké podhodnocení pozorované skutečnosti.

V následující kapitole 3 jsou prezentovány jen ty výsledky, které byly vypracovány modelovým systémem WBalMo Havel-Spree v rámci projektu KLIWAS.

3 Výsledky průzkumů z povodí Havoly provedených pomocí modelu pro nakládání s vodami WBalMo

Zde prezentované výsledky vznikly v rámci projektu „**WBalMo Havel-Spree** – výzkum dopadů vodohospodářské činnosti na vodní režim v oblasti Havoly s ohledem na klimatickou změnu“.

Základem dále uvedených výsledků je modelový řetězec, nastíněný již v úvodu. Pomocí stochastického modelu SIKO/SIMO se zjišťují stochastické meteorologické vstupní veličiny. Ve výsledku je k dispozici 300 statistických realizací každého roku scénáře.

Model vodního režimu EGMO-D pro zjištění kvazi-přírodní zásoby vody je založen na potenciálních výparech podle metody Turc/Ivanov (tzn. zohlednění veličin jako je relativní vlhkost vzduchu, globální záření a teplota vzduchu, viz také DVWK-M 238 1996, Svaz vodního hospodářství a kulturních staveb, reg. spolek). Vodohospodářský model WBalMo Havel-Spree slouží pro zjištění množství dostupných zásob vody.

Detailní popis přístupu a rovněž tak vyhodnocení a diskuse o všech výsledcích uvede zpráva BfG v roce 2013.

Tento výzkum o budoucích změnách vodohospodářsky využitelného množství vody je začleněn do resortního výzkumného programu Spolkového ministerstva dopravy, stavebnictví a rozvoj měst KLIWAS „Dopady klimatické změny na vodní cesty a lodní dopravu – vypracování adaptačních nabídek“ (doba trvání 2009-2013, www.kliwas.de).

Koncepce pro vyhodnocení aktuální problematiky se skládala z následujících **čtyř** bodů:

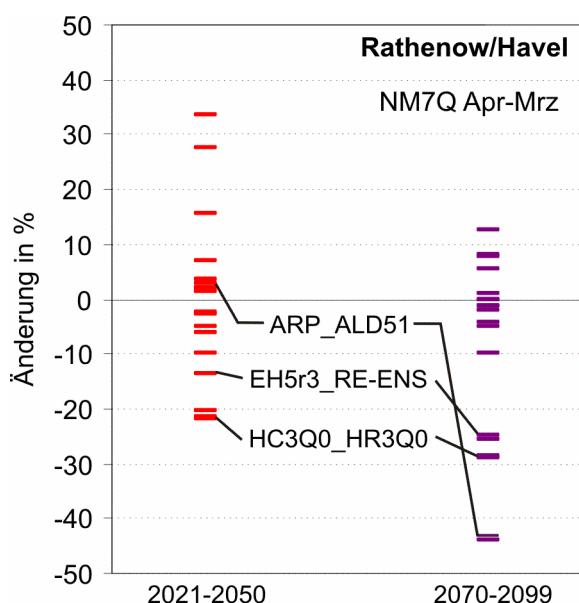
1. Stanovení **průvodních podmínek** pro přítomnost a vypracování scénářů pro možné změny v budoucnosti

> **Meteorologické průvodní podmínky pro současnost a budoucnost**

Meteorologické průvodní podmínky pro stochastický model SIKO/SIMO pro **současnost** jsou jednak pozorované skutečnosti ve formě souboru dat HYRAS (RAUTHE et al. 2011), tak i simulace současného stavu formou klimatických modelů (tzv. kontrolní funkce).

Projekce změn klimatu určené pro budoucnost tvoří základnu pro stochastický model. Pomocí stochastického modelu bylo vytvořeno 300 realizací každého roku scénáře.

Aby se znázornily nejistoty, které projekce změn klimatu provázejí, bylo v rámci projektu KLIWAS vyhodnoceno velké množství simulací budoucnosti co do jejich působení na průtokový režim. Příslušné detaily lze najít u LINGEMANN et al. (2013). Obrázek 3 ukazuje širokou paletu výsledků pro ukazatele nízkého stavu vody NM7Q na profilu Rathenow (vodní cesta Dolní Havola), které vyplynou na základě 20, popř. 17 projekcí změn klimatu pro „blízkou“ resp. „vzdálenou“ budoucnost, a to po lineární korektuře bias za použití hydrologického modelu HBV-D (výpočet výparů jen na základě teplotních údajů). Je třeba poukázat na to, že tato metoda procesovaných dat na základě východiska výparů má v porovnání s ostatními metodami tendenci předpokládat spíše více sucha. (srov. LINGEMANN et al. 2013).






Obr. 3:

Signály změn ukazatelů nízkých vodních stavů NM7Q na bázi 20 (blízká budoucnost, 2021-2050), popř. 17 (vzdálená budoucnost, 2071-2100) projekcí průtoků (HBV-D, výpočty výparů jen na teplotní bázi). Začlenění vybraných třech řetězců modelů.

Z tohoto tzv. multimodelového ansámblu byly v rámci projektu Havola vybrány tři projekce změn klimatu. Ty spočívají na třech různých globálních klimatických modelech (všechny emisní scénář A1B) ve spojení vždy s jiným regionálním klimatickým modelem, a reprezentují tak průřez evropskou scénou vědeckého výzkumu v oblasti modelování klimatu (srov. Tabulka 2). Co se týče projekcí nízkých stavů vody pro blízkou budoucnost (2021-2050), odrážejí velmi dobře celkovou charakteristiku ansámblu HBV-D (srov. obr. 3); přičemž neplauzibilní simulace a atypické jevy nejsou zohledněny. Pro vzdálenou budoucnost (2070-2099) se projekce nacházejí spíše na „suchém konci“ ansámblu. Rok 2099 jako konec výzkumného projektu vzdálené budoucnosti má důvody v technickém zpracování dat.

Tabulka 2

Vybrané řetězce klimatických modelů

Země	Řetězce modelů	Instituce
	C20-A1B-ARP-ALD51 (dále uváděno jako francouzský řetězec modelů)	Centre National de Recherche Météorologiques (CNRM)
	C20-A1B-EH5r3_RE-ENS (dále uváděno jako německý řetězec modelů)	Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M)
	C20-A1B-HCQ0-HRQ0 (dále uváděno jako anglický řetězec modelů)	Met Office Hadley Centre (HC)

> **Uživatelská data pro přítomnost a budoucnost**

Pro **přítomnost** se používají skutečná nebo schválená uživatelská data. Pro **budoucnost** (tedy do r. 2100) je třeba scénáře o využívání vody schválit.




V rámci projektu Havola byl stanoven základní scénář (BASIS) a na rozdíl od něho vždy čtyři pozměněné scénáře o využívání vody (viz Tabulka 3). Výsledky zde zobrazené (Obr. 4 až 7) spočívají na přijatých předpokladech scénáře BASIS. Jsou to hlavně:

- Plánované pokračování těžby hnědého uhlí společností Vattenfall Europe Mining AG (v navazujícím území obcí Welzow-Süd a Nochten) je zohledněno (Vattenfall Europe Mining 2011).
- Rozvoj komunálního zásobování pitnou vodou a likvidace odpadních vod podle zásobovací koncepce pro Berlín (BWB 2008), zde byl zvolen zobrazený scénář BASIS do roku 2040, potom žádná změna současného stavu,
- Říční doprava podle současného stavu a
- Nakládání s vodami jezer z Meklenburské jezerní plošiny podle současného stavu.

Předpoklady a výsledky scénářů 1 až 4 (viz Tabulka 3) budou publikovány v plánované zprávě BfG v r. 2013.

Tabulka 3

Propojení scénářů vodního hospodářství se scénáři klimatické změny pro přítomnost a budoucnost

Vodohospodářské scénáře	Scénář 0 BASIS	Scénář 1 Povrchová těžba uhlí	Scénář 2 Elektrárny	Scénář 3 Lodní doprava*	Scénář 4 Integrál*
Meteorologie					
Soubor dat HYRAS	Obr. 4** Obr. 5	Komentáře a vyhodnocení v plánované zprávě BfG 2013			
Klimatické projekce					
	Obr. 6 obr. 7	Komentáře a vyhodnocení v plánované zprávě BfG 2013			
					
					

* Ve scénářích 1 až 3 byl vždy jeden předpoklad způsobu využití vodních zásob ve srovnání s variantou BASIS pozměněn:

- změny v těžbě hnědého uhlí a vodohospodářská opatření v souvislosti s těžbou jsou uvedena ve scénáři č. 1 – povrchová těžba uhlí. Pro těžbu se nebude nárokovat navazující území u obce Nochten (Vattenfall Europe Mining 2011).
 - evidence ztrát pro další využívání území z důvodu provozu elektrárny, pomocí externího modelu ve scénáři č. 2 – elektrárny, a
 - zvýšená potřeba vody pro provoz zdymadel ve scénáři č. 3 – lodní doprava.
- Scénář č. 4 integruje všechny předpoklady ze scénářů 1 až 3, které by vedly ke zhoršení průtokové situace.

** vodohospodářská činnost deaktivována, tzn. simulace kvazi-přírodního stavu

2. Stanovení vyhodnocovaných období pro přítomnost (popř. status quo), pro blízkou budoucnost a pro vzdálenou budoucnost

Vodohospodářský model WBalMo může ve zde použité konfiguraci bilancovat jen kompletní pětiletá období (tzn. 20 období po pěti letech). To má za následek, že vyhodnocovaná období modelu nakládání s vodami musela být přizpůsobena obdobím klimatických projekcí. Nakládání s vodami v přítomnosti (status quo) je reprezentováno obdobím č. 2, čili časovým úsekem od r. 2008 do r. 2012. Nakládání s vodami v blízké budoucnosti je zobrazeno od r. 2018 (začátek období č. 4) do r. 2052 (konec období č. 10) a nakládání s vodami vzdálenější budoucnosti se definuje od r. 2068 (začátek období č. 14) do r. 2102 (konec období č. 20).

3. Stanovení vhodných proměnných pro vyhodnocení (např. průtoky na určitých profilech, deficit spotřeby vody ze strany uživatelů, kdy odběry vody jsou nižší než předpokládané množství).
4. Stanovení indikátorů (například hlavní hodnoty, čáry nedostoupení, pravděpodobnost výskytu).

V následujícím textu budeme prezentovat jen některé výsledky projektů, které však ukazují, jak **různorodé otázky** lze pomocí tohoto modelu řešit:

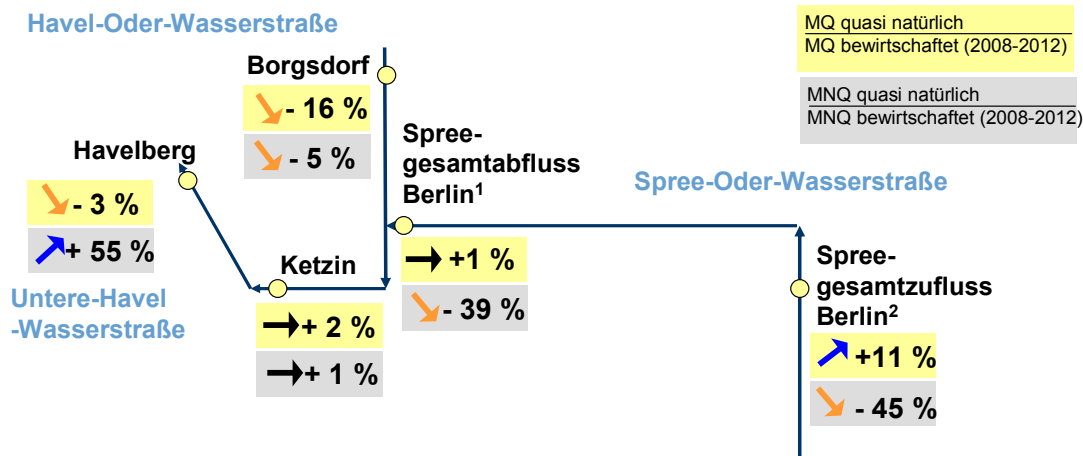
→ **Řešení otázky 1**

Jak se změní dnešní průtoky v oblasti Havoly, když ubyla spousta dřívějších uživatelů vody?

V obr. 4 je pomocí šípek i číselných hodnot zobrazeno, jak se změní průměrné průtoky za nízkých stavů vod a střední průtoky na vybraných profilech nebo v příčném řezu toku, které byly odvozené ze 300 stochastických realizací, když předpokládáme druhy využívání vodních zásob (reprezentované scénářem o využívání vodních zásob BASIS v období 2008-2012) neexistují (čili jsou z techniky modelování vyloučeny). Když se nejedná o vodohospodářské nakládání s vodami, je simulován kvazi-přírodní stav. Změna klimatu se nepředpokládá. Meteorologická databáze je soubor dat HYRAS (RAUTHE et al. 2011).

Průměrný **celkový přítok** do Berlína by se zvýšil, protože nebylo zohledněno zatopení dolů po těžbě uhlí a odběry vody (mj. chladicí voda, ztráty vody z důvodu průsaku, z důvodu výparu v rybníkářství). Průměrné průtoky na profilu Borgsdorf by se mj. z důvodu chybějícího napájení z Meklenburských jezer snížily.

Průměrné průtoky za nízkých stavů vod ve Sprévě by klesly, mj. z důvodu chybějícího vodohospodářského využití a chybějícího vypouštění důlních vod v Lužici. Redukovaly by se také průměrné průtoky za nízkých stavů na profilu Borgsdorf, protože se do toku nepřivádějí vody z Meklenburských jezer. Nárůst průměrných průtoků za nízkých stavů v Havole od profilu Ketzin k profilu ústí řeky v Havelbergu je mj. podmíněný tím, že se nevzalo v úvahu zavodňování nádrží.



¹ Summe der Abflüsse des Pegels Sophienwerder und des Teltowkanals (Mündungsprofil)

² Summe der Abflüsse der Pegel Große Tränke, Wernsdorf und Neue Mühle

Obr. 4: Kvazi-přirozené průtoky (MQ, MNQ; bez vodohospodářství, 300 stochastických realizací) ve vztahu na vodohospodářsky spravované zásoby vod (MQ, MNQ; s vodním hospodářstvím, 2008-2012, 300 stochastických realizací). Průměrný celkový přítok do Berlína byl se zvýšil, protože by mj. nedocházelo k zatopení povrchových dolů. Průměrný průtok a průměrný průtok za nízkého stavu vody na profilu Borgsdorf by se snížil, protože se do toku nepřivádějí vody z Meklenburských jezer.

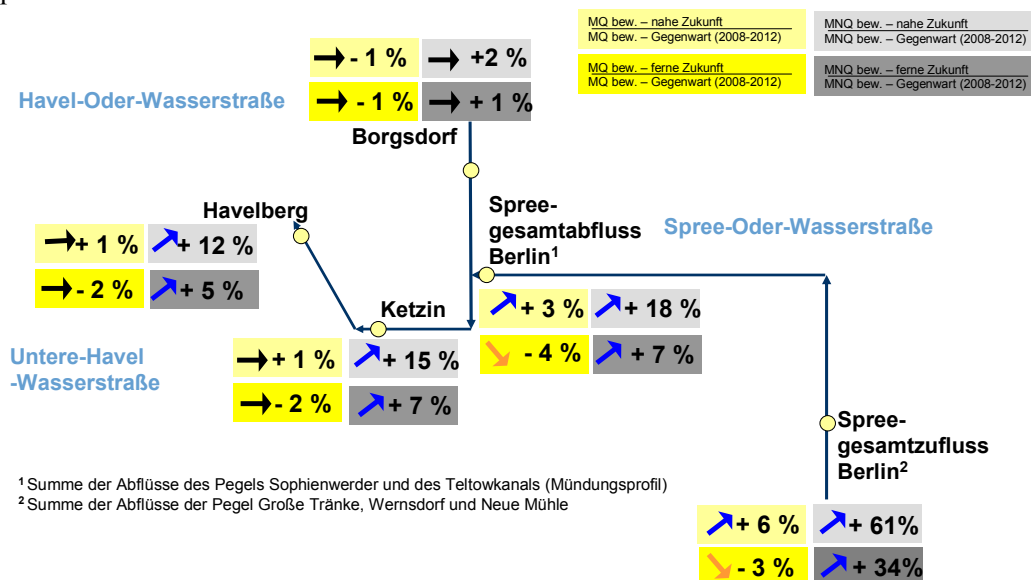
→ Řešení otázky 2

Jak se budou vyvíjet vodohospodářsky upravované průtoky v oblasti Havoly v blízké a vzdálenější budoucnosti za předpokladu využívání vodních zásob dle scénáře BASIS?

V obr. 5 jsou opět pomocí šipek i číselných hodnot zobrazeny procentní změny průměrných, vodohospodářsky upravovaných průtoků (MNQ, MQ) v blízké a vzdálenější budoucnosti pro vybrané profily nebo v příčném řezu toku, které byly odvozené ze 300 stochastických realizací. Požadavkem je, aby se charakteristika referenčního klimatu z databáze HYRAS (1951-2006) do roku 2100 nezměnila. Tím je možné kvantifikovat vliv změněného využívání vodních zásob (scénář BASIS) na vodní režim. Zde uvedené procentní změny se vztahují vždy na referenční období od r. 2008 do r. 2012.

V obr. 5 lze poznat, že se **průměrné průtoky** v blízké budoucnosti za předpokládaného vodohospodářského využití nezmění (Havola), popř. se lehce zvýší (Spréva). Průměrné průtoky ve vzdálenější budoucnosti se pravděpodobně v důsledku snížení množství důlních vod ve Sprévě lehce sníží.

Průměrné průtoky za nízkých stavů vody se patrně v blízké budoucnosti silně zvýší, a to v důsledku uvedení do provozu dalších nádrží v Lužici a díky stávajícím důlním vodám ve Sprévě. Tento efekt bude na vodní cestě Dolní Havola pokračovat. Ve vzdálené budoucnosti bude zvýšení průměrných průtoků za nízkých stavů na vodní cestě Spréva-Odra a také na vodní cestě Dolní Havola o trochu menší, protože podle modelového předpokladu pro vzdálenou budoucnost nebudou už do Sprévy vypouštěny žádné důlní vody. Na profilu Borgsdorf nelze konstatovat na základě předpokladů ze scénáře BASIS (nakládání s vodami Meklenburských jezer do r. 2100 dle stávajícího stavu) žádné změny v odtokových poměrech.



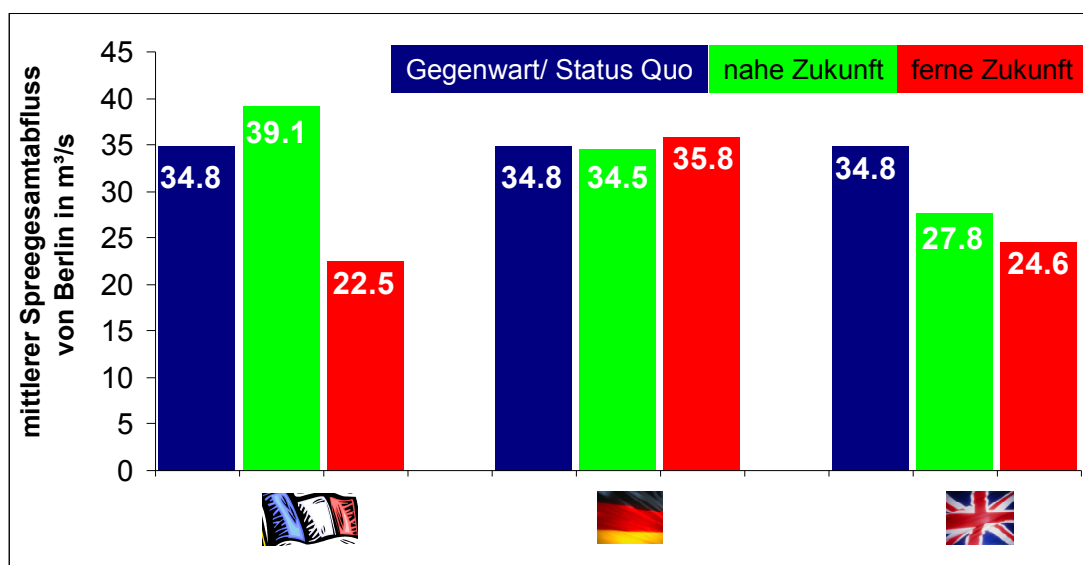
Obr. 5: Změna vodohospodářsky řízených průtoků (průměrné hodnoty ze 300 stochastických realizací) v blízké a vzdálené budoucnosti ve vztahu k referenčnímu období (2008-2012) za předpokladu, že nedojde ke klimatické změně. V blízké a vzdálené budoucnosti budou změny průměrných průtoků na základě zvoleného vodohospodářského scénáře (BASIS) velmi malé. Nárůst průměrných průtoků na vodní cestě Spréva-Odra a v pokračování na vodní cestě Dolní Havola v blízké a vzdálené budoucnosti rezultuje z předpokladů vodohospodářského využití povrchových dolů a důlních vod v zatopených dolech.

→ Řešení otázky 3

Jak se budou vyvíjet průměrné celkové vodohospodářsky upravované průtoky Berlína v blízké a vzdálené budoucnosti za předpokladu klimatické změny a změny vodohospodářských úprav?

V Obr. 6 je zobrazen empirický průměrný celkový průtokový objem Berlína (součet průtoků na profilu Sophienwerder a Teltowkanal (profil ústí řeky), za předpokladu použití vodohospodářsky orientovaného scénáře BASIS; 300 stochastických realizací) pro status quo, pro blízkou budoucnost a vzdálenou budoucnost pro tři vybrané projekce klimatické změny (francouzský, německý a anglický modelový řetěz). Všechny sloupce se vztahují na průměrný průtok v situaci referenčního klimatu podle databáze HYRAS. Projekce pro blízkou a vzdálenou budoucnost vyplývají z vynásobení vždy příslušného signálu klimatické změny s průtoky současnosti, popř. dle stávajícího stavu.

Ve srovnání blízké budoucnosti se stávajícím stavem jsou patrné protichůdné vývojové linie: Francouzský modelový řetěz vykazuje nárůst (o 12 %) a anglický model snížení (o 20 %) průměrných průtoků ve vodohospodářském režimu. Německý modelový řetěz nenavozuje žádnou změnu. Ve srovnání vzdálené budoucnosti se stávajícím stavem se neukazuje téměř žádná změna v německém modelovém vzorci, zato snížení o 35 % (u francouzského modelového řetězce), případně o 29 % (u anglického modelu).

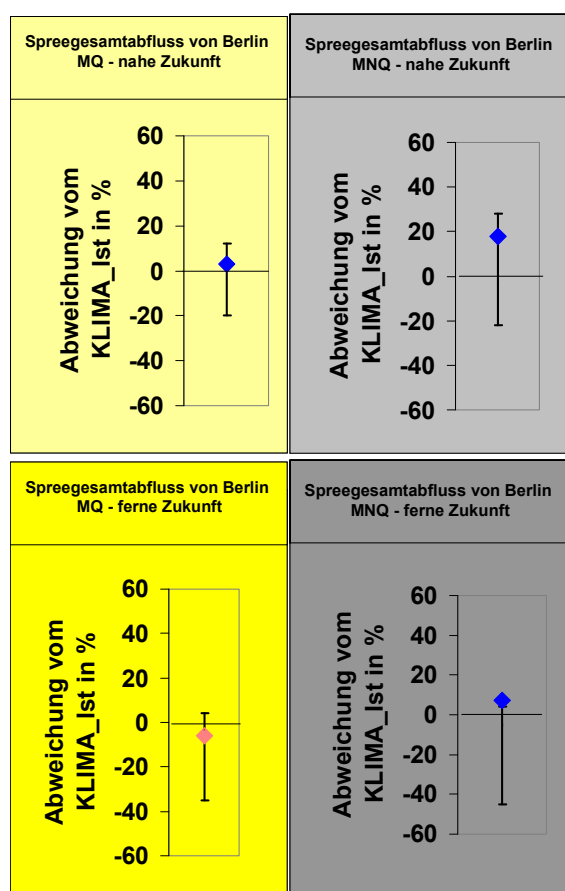


Obr. 6: Podle scénáře BASIS průměrný celkový průtok (ze 300 stochastických realizací) v Berlíně (součet průtoků na vodočtech Sophienwerder a Teltowkanal) v současnosti (2008-2012), v blízké budoucnosti (2018-2052) a ve vzdálené budoucnosti (2068-2102) s přihlédnutím ke třem klimatickým projekcím (francouzský, německý a anglický modelový řetěz). V porovnání blízké budoucnosti s přítomností jsou vidět nejružnější možnosti vývoje. V porovnání daleké budoucnosti s přítomností je ve francouzských a anglických modelech vidět snížení průtočnosti a v německých modelech nedochází ke změně.

Na obr. 5 jsou zobrazeny změny průměrných vodohospodářsky upravovaných průtoků, které vyplývají pouze z předpokladů scénáře BASIS, orientovaného na vodohospodářsky upravované toky. Na Obr. 6 jsou zobrazeny průměrné upravované průtoky, které spočívají jak na předpokladech vodohospodářsky orientovaného scénáře BASIS, tak i na předpokladech vývoje klimatu. Prostřednictvím propojení obou výsledků lze odpovědět na otázku, které průvodní podmínky (buď scénáře klimatické změny nebo změna uživatelské klientely) vodní režim více ovlivňují.

Na obr. 7 je zobrazena procentní odchylka vodohospodářsky spravovaných průměrných nízkých průtoků (MNQ) a průměrných (MQ) celkových průtoků v Berlíně (ze 300 stochastických realizací; součet průtoků na vodočtech Sophienwerder a Teltowkanal) v blízké a vzdálené budoucnosti, vztaženo v obou případech na období 2008 až 2012 ve třech zvolených modelových řetězcích. Změna, která vyplývá pouze z vlivu změnéné uživatelské klientely (předpoklad scénáře BASIS), je zobrazena jako kosočtverec. Vertikální černé čáry symbolizují rozpětí změn (minimum a maximum), ke kterému by došlo, kdyby se jako základ pojaly jak scénář o užívání vod BASIS, tak i tři zmíněné projekce klimatické změny.

Je z toho vidět, že změny režimu průtoků, které jsou vyvolány prostřednictvím zvolených klimatických projekcí, jsou větší než změny, které vyplývají ze scénáře pro vodohospodářsky spravované průtoky. Tuto výpověď nelze však zevšeobecňovat. Vzájemný poměr se může změnit anebo dokonce obrátit, pokud by se zvolily jiné profily nebo jiné scénáře vodohospodářského režimu a jiné projekce klimatu.



Obr. 7:

Procentní změna celkového průtoku Berlína ve vodohospodářském režimu (součet průtoků na vodočtech Sophienwerder a Teltowkanal, 300 stochastických realizací) v blízké budoucnosti (2018-2052) a vzdálené budoucnosti (2068-2102), které vyplývají z rozpětí zvolených klimatických projekcí a scénáře BASIS pro nakládání s vodami – zobrazeno jako kosočtverec, vztaženo na přítomnost (2008-2012). Výsledky jsou platné jen za uvedených průvodních podmínek (tři klimatické scénáře a jeden scénář pro nakládání s vodami) a nelze je zobecnit. Vyplývá z toho, že změny průtoků ve vodohospodářském režimu vyvolané výsledným rozpětím zvolených klimatických projekcí, jsou větší než změny vyplývající ze scénáře zaměřeného na nakládání s vodami.

4 Shrnutí a výhled

Představená třístupňová koncepce (systémová a procesní analýza, volba a struktura modelu, aplikace modelu) má všeobecnou platnost pro řešení vodohospodářských otázek v antropogenně silně ovlivněných oblastech a lze ji přenést na jakékoli dílčí povodí. Jednotlivé stupně koncepce se člení na pracovní úkony, které byly podloženy výsledky z projektů (hlavně z aktuálního projektu Havola „Výzkum dopadů vodohospodářské činnosti na vodní režim v oblasti Havoly s ohledem na klimatickou změnu“). Plánuje se také přenos zde prezentované výzkumné koncepce na další antropogenně ovlivněná dílčí povodí německých přítoků Labe (například na povodí řeky Sály).

Byly zde představeny dva vodohospodářské modely (BEWASYS a WBalMo) a rozdílné oblasti jejich použití. Oba modely jsou vhodné pro simulaci dopadů klimatické změny a dopadů změn ve spotřebě vodních zdrojů na vodní režim v antropogenně silně ovlivňovaných zemích. Příslušné výzkumy provedené pomocí modelu BEWASYS Rýn-Odra jsme nepředstavili a odkazujeme zde na příslušnou literaturu (EBNER VON ESCHENBACH et al. 2012a). Analýzy provedené pomocí modelu WBalMo byly provedeny v povodí řeky Havoly. Představili jsem Vám zde první výsledky. Výsledky celého projektu budou publikovány v jedné ze zpráv BfG v roce 2013.

Zde prezentované dílčí výsledky dokládají, že je bezpodmínečně nutné provést srovnávající popis metodik formou širokého záběru výsledků, aby bylo možné dospět k odhadu průkaznosti a charakteristiky modelových simulací. To se týká především simulací budoucího rozvoje hydrometeorologických a hydrologických poměrů (srov. LINGEMANN et al. 2013).

Vedle předpokládaného vývoje klimatu je třeba v antropogenně ovlivněných oblastech rozhodnout také o předpokládaném vývoji ve způsobu využívání vodních zásob. Jak volba scénářů pro klimatickou změnu, tak i scénářů pro vodohospodářsky spravované vodní zdroje může mít rozhodující vliv na výsledky výzkumu.

Literatura

BfG (2010a): Nutzung der aktuellen Ländervariante des Bewirtschaftungsmodells WBalMo Spree-Schwarze Elster im WBalMo Havel-Spree im Rahmen des Forschungsprojektes KLIWAS durch die BfG vom 15. Oktober 2010, Vereinbarung mit Landesdirektion Sachsen (vormals: Landesdirektion Dresden), unveröffentlicht.

BfG (2010b): Nutzung der WBalMo-Bausteine Havel, Nuthe, Plane, Buckau, Rhin und Dosse-Jäglitz im Rahmen des Forschungsprojektes KLIWAS am 20. Dezember 2010, Vereinbarung mit Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, unveröffentlicht.

BWB (2008): Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den Berliner Wasserbetrieben versorgte Umland (Entwicklung bis 2040). Auftraggeber Berliner Wasserbetriebe, Auftragnehmer: UBB Umweltvorhaben Dr. Klaus Möller GmbH.

DVWK-M 238 (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Verantwortlicher Herausgeber: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Gluckstraße 2, D-53115 Bonn, bearbeitet vom DVWK-Fachausschuss „Verdunstung“.

DWD (2001): Hydrometeorologische Untersuchungen zum Problem Klimaveränderungen - Untersuchungen zum Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen, Abschlussbericht, Teil B: Langzeitverhalten des Niederschlags, der Verdunstung und der Bilanzen.

- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., M. CARAMBIA, J. HOHENRAINER, E. NILSON, K. RICHTER (2012a): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels und veränderter Ansprüche der Nutzer auf die Bewirtschaftung des Westdeutschen Kanalsystems. In: Veranstaltungen 2/2012 "Überregionale Wasserbewirtschaftung - Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle". Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 42-53.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, K. RICHTER, R. OPPERMAN, S. KRAUSE (2011): BEWASYS Rhein-Oder - Tageswertmodell zur Simulation der Wasserbewirtschaftung der Bundeswasserstraßen zwischen Rhein und Oder. BfG-Bericht 1730.
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., J. HOHENRAINER, B. WILLAMOWSKI (2012b): Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin, 6. Fassung, Teilbericht 1. BfG-BAW-Bericht-1777. Entwurf vom Dezember 2012. Auftraggeber: WNA Berlin.
- FALKENMARK, M., C. WIDSTRAND (1992): Population and Water Resources: A Delicate Balance (Population Bulletin), Population Reference Bureau, Washington D. C., USA.
- GLOS, E. (1984): Die Einzugsgebietsmodellversion EGMO-D für Durchflussberechnungen in Dekaden- bis Monatsschritten. Teilbericht zu Lauterbach, D. et al.: ASU Spree, 1. Ausbaustufe, Forschungsbericht, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Projektträger: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Projektleitung: Institut für Hydrologie der Universität Freiburg und BfG Koblenz, Beiträge: BfG, DWD, BGR, IHF Freiburg, UBA, BKG, StBA Wiesbaden, AmilGeo und LAWA, 100 Tafeln und Karten, Bonn.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet - Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick.
- KALTOFEN, M., F. MÜLLER, M. SCHRAMM (2012a): Untersuchungen der Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havelgebiet unter Berücksichtigung des Klimawandels. Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde. unveröffentlichte Zwischenberichte und Präsentationen.
- KALTOFEN, M., M. SCHRAMM, F. MÜLLER (2012b): Bewirtschaftung des Havel-Spree-Gebiets mit WBalMo. In: Veranstaltungen 2/2012 "Überregionale Wasserbewirtschaftung - Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle". Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 81-90.
- KOCH, H., F. WECHSUNG, U. GRÜNEWALD (2010): Analyse jüngerer Niedrigwasserabflüsse im tschechischen Elbeeinzugsgebiet. Hydrologie und Wasserwirtschaft, 54(3): 169-178.
- LINGEMANN, I., E. NILSON, M. CARAMBIA, P. KRAHE (2013): Änderungen des Wasserhaushalts der Elbe im 21. Jahrhundert. In: Veranstaltungen 6/2013 „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbeeinzugsgebiet“, Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 47-58
- LOUCKS, P. D., E. VAN BEEK (2005): Water Resources Systems Planning and Management - An Introduction to Methods, Models and Applications.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. GRATZKI (2011): A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins - Part 1: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results.
- SIKO/SIMO (2001): Programm zur stochastischen Simulation. Benutzerhandbuch zu SIKO/SIMO, Version 3.1. DHI-WASY GmbH, Dresden.
- Statistische Ämter (2010): Statistische Ämter des Bundes und der Länder, ausgewählte Regionaldaten für Deutschland, Ausgabe 2010.
- Vattenfall Europe Mining (2011): SUP Welzow (2011), Variantenbetrachtungen zur Weiterführung der Tagebaue Nochten und Welzow-Süd in die Anschlussgebiete und deren perspektivische Flutung, Übergabe von Vattenfall Europe Mining AG an den AK Wassermenge in der AG Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster, 09. Februar 2011.

Kontakt:

Dr. Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5187

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: EbnerVonEschenbach@bafg.de

Jochen Hohenrainer

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306-5180

Fax: 0261/ 1306-5280

E-Mail: hohenrainer@bafg.de

Panta rhei – vztah mezi využíváním území, klimatickou změnou a vodním režimem

Gunnar Lischeid

1 Úvod

Voda je nejdůležitější potravinou člověka a esenciálním výrobním prostředkem pro zajišťování výroby jeho potravy. Voda má ale také zásadní význam pro ekonomiku. Je nezbytná pro mnoho výrobních procesů, např. pro chlazení elektráren, tvorbu zásob elektrické energie a jako nosný prostředek pro přepravu nákladů v říční dopravě. Vedle toho představují povrchové vody a mokřady vysokou míru biodiverzity a mají velkou úlohu i pro odvětví cestovního ruchu. Nedostatek vody může tyto funkce kritickým způsobem ohrozit. Na druhé straně znamená příliš velké množství vody pro člověka ohrožení, ať už jsou to povodně vznikající během prudkých dešťových srážek nebo rychlého tání sněhu, které s sebou nesou silnou erozi půdy, nebo déle trvající zvýšené hladiny podzemních vod. Člověk proto už celá staletí zasahuje – cíleně či někdy bezděčně jako vedlejší efekt antropogenní činnosti – masivním způsobem do vodního režimu. V této souvislosti se aktuálně diskutují především oba velké vlivové faktory, kterými jsou využívání území a změna klimatu, a jejich vliv na vodní režim. Tyto faktory určují rámec, v němž se vodní hospodářství pohybuje.

2 Využívání území a vodní režim

Na území Spolkové republiky Německo spadlo v posledních desetiletích v průměru 859 mm srážek za rok, z nichž 62 % (532 mm/a) se vypařilo anebo je transpirovaly rostliny, a 327 mm/a oteklo jako přirozené odtoky (Spolkový ústav životního prostředí, – BMU 2003). Navíc je tu ještě netto 199 mm/a, které jako přeshraniční vodní toky přitekly do Německa z jiných států, jako v případě Labe z České republiky. Pro německou část povodí Labe vypadá bilance z důvodu nízkých srážek a vyšší potenciální evapotranspirace méně příznivě. Pro spolkovou zemi Braniborsko se uvádějí srážky ve výši cca 610 mm/a, z nichž cca 510 mm/a se evapotranspirací odvádí zpět do atmosféry (DANNOWSKI & STEIDL 2000, LAHMER & PFÜTZNER 2003). Klimatická vodní bilance jako difference mezi srážkami a referenčním výparem z travního porostu (ALLEN et al. 1998) je pro téměř celou německou část povodí Labe silně negativní. Skutečná evapotranspirace je však výrazně nižší, porovnáme-li disponibilní zásoby vody s referenčním výparem z travního porostu. Přesto připadá ještě jedna třetina vyzařované sluneční energie na evapotranspiraci. V porovnání s tím se jen asi 1 % vyzařované sluneční energie ukládá do zásoby jako roční přírůstek biomasy.

Porosty sítiny a rákosu na březích jezer a řek se vyznačují neomezenou zásobou vody a téměř neomezenou výměnou vody v atmosféře. BEHRENDT et al. (2001) identifikovali v dlouholetých řadách dat naměřených v lyzimetrickém zařízení Paulinenaue v povodí Havoly objemy evapotranspirace až do výše 1600 mm/a, které tak překročily lokální roční srážkovost o více než 150 %. Modelace hydrologické bilance krajiny diferencované podle územních ploch pro spolkovou zemi Braniborsko vykazují proto negativní bilance pro jezera, břehy řek a mokřady, na nichž převládá rákosový porost (DANNOSKI & STEIDL 2000, LAHMER & PFÜTZNER 2003). Odhady reálné evapotranspirace prostřednictvím dat dálkového průzkumu Země během suchých, teplých letních dnů tento vzorec potvrzují (WLOCZYK 2007).

Evapotranspirace z vegetace pozemních lokalit je určována jednak zásobou vody, která zase závisí na vzdálenosti mezi hladinou podzemní vody a zemským povrchem, na tloušťce kapilárního pásma a na akumulaci kapacity půdy. Na druhé straně má na její zvýšení vliv výše a nerovnost porostu, index listové plochy (součet plochy všech listů děleno plochou půdy, kterou rostlina pokrývá), vlastnosti kořenového systému a délka vegetačního období, popř. délka trvání olistění. Podobně se sledují nejvyšší roční úhrny evapotranspirace v jehličnatých lesích s neopadavými jehličnany, pak následují v sestupném pořadí opadavé listnaté lesy, zelené pastviny, orná půda a neobdělávaná půda (LISCHEID & NATKHIN 2011, DANNOSKI & STEIDL 2000, LAHMER & PFÜTZNER 2003). Rozdíl mezi jehličnatým lesem a polem (bez pěstování meziplochin) může výrazně překračovat 100 mm/a, závisí však velmi silně na vlastnostech půdy, vzdálenosti mezi zemským povrchem a hladinou podzemní vody, sezónním rozdělením srážek apod. Vliv intenzity nebo druhu obdělávání půdy nevykázal naproti tomu v reálných pokusech Leibnizova centra pro výzkum zemědělské krajiny (ZALF) žádné signifikantní vlivy na evapotranspiraci. Oproti tomu evapotranspirace výrazně narůstá za přibližně stejných podmínek, pokud se mění index listové plochy, biomasa nebo výnos z pěstování zemědělských plodin (MÜLLER et al. 2005, HAFERKORN 2000). Je tedy třeba vycházet z toho, že zvyšování výnosů na pětinašobek až sedminásobek na území dnešní Spolkové republiky Německo během posledních 200 let (SCHUSTER 1997) muselo nutně mít masivní dopady na vodní režim krajiny a je tedy pravděpodobné, že další zvyšování výnosů se také v budoucnosti podobným způsobem projeví.

3 Klimatická změna a vodní režim

Pro prognózované změny globálního klimatu na nejbližší desetiletí lze očekávat závažné dopady na vodní režim povodí Labe. Spolu se stoupající teplotou vzduchu narůstá kapacita vzduchu absorbovat vodní páru a transportovat ji přes velké vzdálenosti. Zároveň stoupá i obsah energie. Proto se obecně očekává zintenzivnění koloběhu vody. Do jaké míry z toho vyplývá pro určité regiony nárůst nebo snížení srážkovosti nebo evapotranspirace, závisí ale rozhodujícím způsobem na cirkulačních vzorech atmosférické vzduchové hmoty. Jinak než u teplot vzduchu jsou nejistoty globálních klimatických modelů velmi vysoké. K tomu přistupují ještě značné nejistoty disponibilních měřicích dat, které prověřování modelů podstatně ztěžují (LORENZ & KUNSTMANN 2012). Ještě větší nejistoty panují v odhadu dopadů na jednotlivé regiony, jak dokládá srovnání prognózovaných prostorových schémat pro spolkovou zemi Braniborsko, provedené prostřednictvím různých regionálních modelů (REIMER et al. 2005).

Komplexní nelineární souhra různých vlivových parametrů na evaporaci ilustrují výsledky dlouholetých časových řad z měření evaporace a slunečního záření, které snížení obou parametrů pro mnoho částí světa vykazují anebo alespoň po více desetiletí vykazovaly. Příčinu tohoto fenoménu označovaného jako „global dimming“ lze hledat v nárůstu oblačnosti, částečně také v příslušných trendech znečištění vzduchu (LIEPERT 2002, STANHILL 2007), přičemž se tento fenomén projevuje regionálně velmi rozdílně (TEULING et al. 2009).

Obecně lze aktuálně vycházet z toho, že ve východním Německu se budou zvyšovat především zimní teploty a dojde k posunu srážkovosti z letního na zimní období. Zároveň se předpokládá nárůst intenzity a četnosti extrémních srážek, čili přívalových dešťů (JACOB et al. 2008, SPEKAT et al. 2007, WECHSUNG 2005, GERSTENGARBE et al. 2003). Protože zemědělství ve východním Německu se už nyní vyrovnává s problémem, že právě ve fázi raného léta, která je pro zemědělské kultury rozhodující, dochází častěji k vodnímu deficitu, narůstá i tlak na optimální druhy zavlažování pro zajištění spolehlivosti výnosu (WECHSUNG et al. 2008, GERSTENGABE et al. 2003). Momentální průvodní ekonomické podmínky jsou však pro mnoho zemědělců natolik obtížné, že jim brání v realizaci potřebných investic. To se však může rychle změnit, pokud se průvodní podmínky, např. v rámci momentálně projednávaných nových podmínek v zaměření zemědělské politiky EU, příslušným způsobem změní.

Očekávané zvýšení potenciální evapotranspirace a zvětšování deficitu nasycenosti z důvodu vyšších teplot vzduchu by mohlo, alespoň částečně, být kompenzováno stimulačním efektem CO_2 z hnojení. Na základě stoupajícího parciálního tlaku CO_2 mohou rostliny potřebu CO_2 nutnou pro fotosyntézu pokrýt prostřednictvím stále kratších fází otevírání průduchů. To by zároveň snížilo odpařování vody do atmosféry a tím by se snížila i spotřeba vody rostlin. Tento efekt bylo možné skutečně prokázat na řadě laboratorních a praktických výzkumů (PIAO et al. 2007, GILL et al. 2002). Zpravidla výrazně stoupla efektivita využívání vody, čili poměr mezi vyprodukovanou biomasou ve vztahu ke spotřebě vody. Ovšem tento efekt byl podproporční: zdvojení parciálního tlaku CO_2 nevedlo k snížení absorpce vody na polovinu (BUNCE 2004). Místo toho byly pozorovány náznaky nasycení (COWLING & FIELD 2003). S obohacením vzduchu o CO_2 bylo spojeno zvýšení výnosu jen ve výjimečných případech (NIE et al. 1992, BUNCE 2004).

Historické rekonstrukce hladin v jezerech v Severovýchodním Německu dokládají, že od konce poslední doby ledové docházelo k jejich značnému kolísání, a dnešní vodní stavy zřejmě neznamenají minimum (KAISER et al. 2012). Ovšem je třeba brát v potaz, že člověk v tomto regionu už po celá staletí do vodního režimu zasahuje a vyvozování přímých návazností na klimatické vlivy je zatíženo velkou porcí nejistoty. Z modelových výzkumů lze podle NATKHIN et al. (2012) usuzovat, že snižování hladin podzemní vody a jezerních vod pozorované už od 80. let minulého století v oblasti Schorfheide, což je severně od Berlína, lze jen z poloviny odvodit od srovnatelně malých změn srážkovosti a evapotranspirace, avšak z další poloviny je její příčinou zvyšování stáří věku borových lesů a vyšší travnatý podrost. Je nutno tedy konstatovat, že budoucí vývoj hydrologické bilance nebude právě záviset jen na vývoji klimatu, nýbrž také na řadě dalších, antropogenních faktorů.

4 Závěry

Po srážkách představuje evapotranspirace nejvýznamnější ukazatel v hydrologické bilanci Střední Evropy. Závisí z největší části na vegetaci a tím tedy také na druhu využívání území. Rozhodujícím faktorem není však jen typ vegetace, nýbrž také biomasa, výnos nebo index plochy olistění, které však zase závisí na druhu zemědělského nebo lesního hospodaření. I když je možné prokázat v historii vlivy klimatických změn na vodní režim krajiny, byly vlivy proměny ve využívání území, popř. zvýšení intenzity ve využívání území na vodní režim ve Střední Evropě v posledních 100 letech podstatně závažnější.

Odhady budoucího vývoje klimatu a jeho vlivů na vodní režim jsou zatíženy velkým procentem nejistoty. Pro velkou část povodí Labe se vychází z toho, že dojde k navýšení teplot vzduchu, posunu srážek z letního na zimní období, a také k nárůstu intenzity a četnosti extrémních stavů počasí. Tyto efekty hrají patrně pro vodní režim v budoucnosti větší roli než vývojové trendy ročních hodnot.

Už identifikace a modelace aktuální evapotranspirace podle skutečných doprovodných podmínek znamená značný problém. Kvůli různorodé, většinou nelineární zpětné vazbě v sousedících oborech, jakými jsou pedologie, fyziologie rostlin, hydrologie, zemědělské a lesnické vědy, mikrometeorologie a dálkový průzkum Země, je třeba vyvinout značné interdisciplinární úsilí, aby bylo možné provést solidní odhad budoucího vývoje a také zmapovat potenciály opatření pro řízení procesů, které jsou důležité nejen pro vodní hospodářství, nýbrž i pro zemědělství a lesnictví. Jen fundovaná znalost těchto souvislostí umožní učinit potřebná opatření, a vzhledem k narůstajícím nejistotám klimatických a ekonomických doprovodných podmínek umožní tak udržitelný způsob hospodaření se zdroji.

Literatura

- ALLEN, R. G., L. S. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH (1998): Crop evapotranspiration: FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome, Italy.
- BEHRENDT, A., G. SCHALITZ, L. MÜLLER, G. MINDEL, D. HÖLZEL (2001): Untersuchungen zur Niedermoorrenaturierung in Grundwasserlysimetern. 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. CD-ROM, Bonn.
- BUNCE, J. A. (2004): Carbon dioxide effects on stomatal response to the environment and water use by crops under field conditions. *Oecologia* 140: 1-10, DOI 10.1007/s00442-003-1401-6.
- COWLING, S. A., C. B. FIELD (2003): Environmental control of leaf area production: Implications for vegetation and land-surface modelling. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 7-1 – 7-14, DOI: 10.1029/2002GB001915.
- DANNOWSKI, R., J. STEIDL (2000): Modellierung des Gebietswasserhaushaltes mit dem Modell ABI-MO. In: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg. Studien und Tagungsberichte, Band 27, Landesumweltamt Brandenburg, S. 24-40.
- GERSTENGARBE, F.-W., F. BADECK, F. HATTERMANN, V. KRYSANOVA, W. LAHMER, P. LASCH, M. STOCK, F. SUCKOW, F. WECHSUNG, P. C. WERNER (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report 83, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

- GILL, R. A., H. W. POLLEY, H. B. JOHNSON, L. J. ANDERSON, H. MAHERALI, R. B. JACKSON (2002): Nonlinear grassland responses to past and future atmospheric CO₂. *Nature* 417: 279-282.
- HAFERKORN, U. (2000): Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes. Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades doctora scientiarum agrariarum (Dr. sc. agr.) der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.
- JACOB, D., H. GÖTTEL, S. KOTLARSKI, P. LORENZ, K. SIECK (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 13. Umweltbundesamt, Dessau.
- KAISER, K., K. GÜNTHER, S. LORENZ, B. MERZ, O. BENS, R. F. HÜTTL (2012): Historische Veränderungen des Wasserhaushalts und der Wassernutzung in Nordostdeutschland. In: Kaiser, K., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R. F. (Hrsg.): Historische Perspektiven auf Wasserhaushalt und Wassernutzung in Mitteleuropa. Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Band 38, S. 73-102.
- LAHMER, W., B. PFÜTZNER (2002): Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnungen. PIK-Report 85, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.
- LIEPERT, B. G. (2002): Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. *Geophysical Research Letters* 29(10), 1421, 10.1029/2002GL014910.
- LISCHEID, G., M. NATKHIN (2011): The potential of land use change to mitigate water scarcity in Northeast Germany – a review. *Die Erde* 142(1-2): 97-113.
- LORENZ, C., H. KUNSTMANN (2012): The Hydrological Cycle in Three State-of-the-Art Reanalyses: Intercomparison and Performance Analysis. *Journal of Hydrometeorology* 13: 1397-1420 DOI: 10.1175/JHM-D-11-088.1.
- MÜLLER, L., A. BEHRENDT, G. SCHALITZ, U. SCHINDLER (2005): Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management* 75(2): 117-136.
- NATKHIN, M., J. STEIDL, O. DIETRICH, R. DANNOWSKI, G. LISCHEID (2012): Differentiating between climate effects and forest growth dynamics effects on decreasing groundwater recharge in a lowland region in Northeast Germany. *Journal of Hydrology* 448-449: 245-254, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.05.005.
- NIE, D., H. HE, G. MO, M. B. KIRKHAM, E. T. KANEMASU (1992): Canopy photosynthesis and evapotranspiration of rangeland plants under doubled carbon dioxide in closed-top chambers. *Agricultural and Forest Meteorology* 61:205-217.
- PIAO, S., P. FRIEDLINGSTEIN, P. CIAIS, N. DE NOBLET-DUCOUDRÉ, D. LABAT, S. ZAEHLE (2007): Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 15242-15247, DOI 10.1073/pnas.0707213104.
- REIMER, E., S. SODOUDI, E. MIKUSKY, I. LANGER (2005): Klimaprognose der Temperatur, der potenziellen Verdunstung und des Niederschlags mit NEURO-FUZZY-Modellen. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Band 6, Weißensee Verlag, Berlin, S. 96-109.
- SCHUSTER, W. H. (1997): Welchen Beitrag leistet die Pflanzenzüchtung zur Leistungssteigerung von Kulturpflanzenarten? *Pflanzenbauwissenschaften* 1: 9.18.
- SPEKAT, A., W. ENKE, F. KREIENKAMP (2007): Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG. UBA-FZK 204 41 138. UBA-Publikationsreihe, Dessau.

- STANHILL, G. (2007): A Perspective on Global Warming, Dimming, and Brightening. *Eos* 88(5): 58-59.
- TEULING, A. J., M. HIRSCHI, A. OHMURA, M. WILD, M. REICHSTEIN, P. CIAIS, N. BUCHMANN, C. AMMANN, L. MONTAGNANI, A. D. RICHARDSON, G. WOHLFAHRT, S. I. SENEVIRATNE (2009): A regional perspective on trends in continental evaporation. *Geophysical Research Letters* 36, L02404, doi:10.1029/2008GL036584.
- WECHSUNG, F. (2005): Herausforderungen des globalen Wandels für die Elbe-Region. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (Hrsg.): *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft*, Band 6, Weißensee Verlag, Berlin, S. 3-57.
- WECHSUNG, F., A. LÜTTGER, F. F. HATTERMANN (2008): Projektionen zur klimabedingten Änderung der Erträge von einjährigen Sommer- und Winterkulturen des Ackerlandes am Beispiel von Silomais und Winterweizen. In: Wechsung, F., Gerstengarbe, F.-W., Lasch, P., Lüttger, A. (Hrsg.) (2008): *Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel*. PIK-Report 112, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, S. 18-32.
- WLOCZYK, C. (2007): Entwicklung und Validierung einer Methodik zur Ermittlung der realen Evapotranspiration anhand von Fernerkundungsdaten in Mecklenburg-Vorpommern. Dissertation, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Rostock.



Kontakt:

Prof. Dr. Gunnar Lischeid

Leibniz-Zentrum für Agrarland-
schaftsforschung

Institut für Landschaftswasser-
haushalt

Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

Tel.: +49-33432-82300

Fax: +49-33432-82301

E-Mail: lischeid@zalf.de

1983-1989

Studium zemědělství a geologie na univerzitách v
Bonnu a Göttingenu

1990-1995

Disertační práce na univerzitě Göttingen

1993-2008

Vědecký pracovník na univerzitě Bayreuth

od r. 2008

Ředitel Ústavu pro vodní režim krajiny Leibnizova
centra pro výzkum zemědělské krajiny a profesor
pro vodní režim krajiny na univerzitě Postupim

Spolupráce na aktuálních **projektech** (výběr):

- 2010-2013: Impact of soil and land management on
ground water recharge and solute
leaching under current and changing
climate conditions in the Luancheng
region in the Hai River basin (China)
- 2011-2015: ELaN – Vývoj integrovaného řízení
zemědělství prostřednictvím udržitelného
využívání vody a materiálů v
severovýchodním Německu
- 2012-2015: Aqualink – Aquatic boundaries and
linkages in a changing environment.
Dílčí projekt: Systémová dynamika
akvaticko-terestrických hraničních zón a
jejich změny
- 2012-2015: Landscapes – Connecting processes and
structures driving the landscape carbon
dynamics over scales.
Dílčí projekt: Focusing on uncertainties
in scaling fluxes and mechanisms to the
landscape level.
- 2013-2014: Ways – budoucnostní technologie a
služby pro řízení vodních a surovinových
zdrojů na horním toku Jang-c'-ťiang v
Sečuánu, Čínská lidová republika.
Dílčí projekt: Řízení vodního hospo-
dářství a posuzování vodního režimu
krajiny

Vliv provozu vodních přehrad České republiky a Durynska na povodně na toku Labe

Marcus Hatz a Norbert Busch

1 Úvod

Tři významné povodňové události na toku Labe (2002, 2006, 2011) během jednoho desetiletí v Německu přiblížily jak postiženému obyvatelstvu, tak i odborníkům z oblasti vodního hospodářství a politiky skutečnost, jak důležitá je otázka fungujícího zvládnutí povodňových rizik. Spolkový ústav hydrologie (BfG), který jako nejvyšší odborná spolková instituce je také příslušný pro všechny spolkové, čili hlavní vodní cesty v Německu, se proto už od r. 2004 podílí na projektech EU zaměřené na povodně a otázky ochrany před povodněmi v povodí Labe. Jak v projektu ELLA (2004-2006), tak i v projektu „LABEL – Přizpůsobení se rizikům podvodní v povodí Labe“, který byl uzavřen v roce 2012, měl Spolkový ústav hydrologie možnost přispět k tomuto tématu celou řadou výzkumů a jejich aplikacemi z praxe, a v otázce zvládnutí povodňových rizik plnil tak funkci rozhraní mezi státem, spolkovými zeměmi a evropskými partnery.

V centru pozornosti všech výzkumů BfG v projektu LABEL byly vždycky rozsáhlé labské povodně let 2002, 2006 a 2011. Na požádání Společenství povodí Labe (FGG Elbe) jsme pro tyto události provedli průzkumy pomocí velkoplošných matematických modelací odtoků provedených v kooperaci s českými partnery (Masaryk Water Research Institute, AquaLogic Consulting), jejichž předmětem bylo prozkoumání působnosti českých a durynských přehrad na labské povodně s působností přes hranice států a spolkových zemí. Výsledky představené v této studii dokazují, že během těchto tří povodní byl k dispozici v příslušných přehradách nezanedbatelný retenční objem (až do výše 500 mil. m³), jehož využití se projevilo pozitivně nejen na kulminační stavy vod na Labi v České republice. Také podél celého německého volně tekoucího Labe, až téměř po brány Hamburku, se podařilo pomocí modelových výzkumů prokázat snížení kulminací až do 1 metru, což podstatně přispělo ke zlepšení ochrany před povodněmi na horním a středním toku Labe.

2 Povodňové riziko v povodí Labe

Pro mnoho regionů a měst v povodí Labe byl a je tento hlavní tok a jeho přítoky důležitým motorem hospodářského rozvoje. Celá řada údolních přehrad na Vltavě, Ohři a Sále (Obr. 1) zajišťují zásobování území pitnou vodou a elektřinou; vodní cesta Labe poskytuje potenciály využití pro odvětví nákladní přepravy, a cestovní ruch profituje z přitažlivé palety kulturních

zážitků až po zážitky z přírodě blízké krajiny říčních niv. Extrémní povodně let 2002, 2006 a 2011, k nimž došlo v důsledku mimořádných meteorologických podmínek v povodí, ukázaly, že popisovaný pozitivní vývoj může být kdykoli ohrožen výskytem povodní. Důvodem je především to, že v posledních 150 letech zmizelo z říčních niv více než 85 % přirozených ploch rozlivu, avšak potenciály povodňových škod se právě tam v důsledku výstavby a zahuštění infrastruktury zvýšily. Došlo proto k nárůstu rizika povodní (MKOL 2005).



Obr. 1: Povodí Labe (včetně vodních přehrad)

3 Adaptace na povodňová rizika

Oborníci v povodí Labe se začali touto problematikou zabývat. Navíc k činnosti stálých jak německých (Společenství povodí Labe), tak i mezinárodních (Mezinárodní komise pro ochranu Labe) grémíí a pracovních skupin v povodí Labe, se pak rychle po takzvané „stoleté vodě“ ze srpna 2002 zformovala další iniciativa, která dospěla k poznání, že udržitelné zvládnání

povodňových rizik nemůže realizovat pouze sektor vodního hospodářství sám, nýbrž jen ve spolupráci s územním plánováním. Tato iniciativa je dotována z programu INTERREG B Evropské unie, kterým EU podporuje spolupráci mezi městy, regiony a členskými zeměmi a jehož cílem je zajistit, aby hranice mezi státy nebyly překážkou pro vyvážený rozvoj evropského prostoru.

Díky této podpoře mohly státy přeshraničně, prostřednictvím národních, lokálních a regionálních institucí z Německa, České republiky a ostatních partnerských zemí úspěšně realizovat oba projekty EU „ELLA – Preventivní ochrana před povodněmi prostřednictvím nadnárodního územního plánování“ (2004-2006) a „LABEL“ (2009-2012).

V obou projektech byl ústav BfG aktivním projektovým partnerem a jako instituce na nejvyšší spolkové úrovni zabývající se aplikovaným výzkumem plnil tak k zúčastněným národním institucím a evropským partnerům funkci rozhraní. Ve spolupráci s těmito partnery si BfG jako jeden ze stěžejních bodů v projektu LABEL stanovil provést velkoplošný výzkum na bázi modelování, zaměřený na průběh povodní na toku Labe a jeho větších přítocích. V návaznosti na analýzy, které provedl BfG v rámci projektu ELLA o působnosti plánovaných polderů a obnovy hrází v Sasku a Sasku-Anhaltsku (BfG 2006), bylo mj. cílem přesněji specifikovat už existující znalosti (KAŠPÁREK et al. 2006) o působnosti vodních přehrad v České republice a Durynsku, které ovlivňují průběh povodní na Labi a vyjasnit, do jaké míry mají pozitivní vliv na německou část labské trasy.

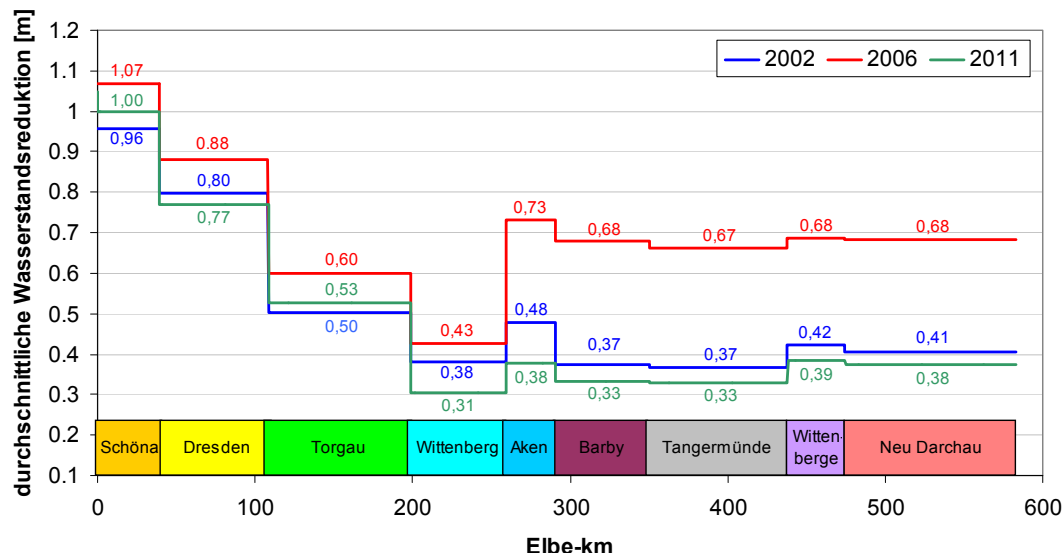
4 Působnost vodních přehrad při povodních 2002, 2006 a 2011

Pro svoji retenční kapacitu hrají vodní přehrady v povodí Sály v Durynsku a v povodích Vltavy a Ohře v Česku důležitou roli pro povodňový průběh povodní z let 2002, 2006 a 2011 (MKOL 2009). Například v MKOL (2009) bylo prokázáno, že preventivním upouštěním přehrad na Vltavě v zimě 2005/2006 „bylo možné při povodni na jaře 2006 zadržet významnou část povodňové vlny.“ Přitom se vycházelo z toho, že vliv přehrad na české straně, jejichž manipulace je nastavena na průběh tamějších povodní, se v Německu pozitivně projeví jen v dosahu do „prostoru Drážďan“ (MKOL 2009). Aby se tyto znalosti upřesnily, provedl BfG ve spolupráci se svými českými partnery v rámci nadnárodního projektu poprvé průzkum těchto pozitivních efektů také pro úsek Labe v Německu. Aplikován zde byl česko-německý modelový systém, v němž model vodního toku v 1D vypracovaný v ústavu BfG pro tok Labe až do Geesthachtu u Hamburku (software: SOBEK) byl propojen s modelem vodního toku v 1D pro Labe na české straně (software: HecRas) a pro Vltavu (software: HecRas, resp. AquaLog).

Výsledky simulací (BfG 2012) ukazují, že v případě historických povodní z let 2002, 2006 a 2011 se dosáhlo díky manipulaci na vodních dílech na české straně a v Durynsku značného snížení kulminací. To přineslo nejen pozitivní efekty pro průběh povodní v České republice (vliv na malou vzdálenost), nýbrž to působilo v nadnárodním měřítku a ovlivnilo to velký prostor až do dolní části Středního Polabí v Německu (vliv na velkou vzdálenost). Na profilu v Drážďanech, kde je možné vysledovat vliv všech retenčních nádrží z české strany, by býval kulminační stav vody v srpnu 2002 (měřeno: 940 cm na vodočtu) překročil značku 10 m. V následujícím textu je popsán pro Drážďany a pro vodočet Wittenberge na dolní části Středního Polabí (kde se překrývá působnost českých a durynských opatření režimů přehrad) pásma snížených kulminací, kterých bylo dosaženo při uvedených třech povodních:

- > na profilu **Drážďany**: -68 cm až -76 cm (-569 m³/s až -888 m³/s),
- > na profilu **Wittenberge**: -40 cm až -71 cm (-452 m³/s až -840 m³/s)

Jako doplněk k těmto číselným údajům zobrazuje obrázek 2 zprůměrované snížení kulminačních stavů vody na určitých úsecích v případě všech třech povodní na celém toku Labe.



Obr. 2: Dosažené průměrné snížení kulminačních stavů na Labi během povodní v letech 2002, 2006 a 2011

Popsaných snížení kulminací bylo možné dosáhnout jen proto, protože v průběhu povodní byly na uvedených přehradách v České republice a v Durynsku zadrženy objemy vody z povodňových vln ve výši 169 mil. m³ (2002) a 518 mil. m³ (2006). Pro tento účel byl k dispozici nejen obvyklý retenční povodňový prostor, nýbrž i uvolněný objem v provozním prostoru přehradních nádrží, který byl díky předchozímu upouštění vody vygenerován v době před povodňovou událostí. Možné potenciály a limity těchto manipulačních procesů od-pouštění vody se ještě pak ověřovaly na modelovém výzkumu:

- > Vyprázdnění vodních nádrží překračující obvyklý retenční povodňový objem se může provádět v případě zimních a jarních povodní (např. povodeň v r. 2006) ve velkém rozsahu. Důvodem je, že proces odpouštění vody závisí hlavně na ekvivalentu vody uloženého ve sněhové pokrývce. Pro případ zimní povodně tím lze poskytnout daleko větší volný objem než v případě letních povodňových událostí.
- > Největšího snížení povodňové kulminace je možné dosáhnout pro krátké povodňové vlny s příkrým nárůstem vlnového průběhu (jako při povodni 2002). Takové vlny potřebují při stejné kulminaci – podobně jako tomu bylo při povodni v roce 2006 – daleko méně zásobné kapacity než vlny se širokou, dlouze probíhající vlnou.

5 Shrnutí a výhled

Několik milionů lidí v Německu žije za hrázemi a jsou do jisté míry před povodněmi chráněni. Česko-německé výzkumy provedené v rámci projektu EU LABEL dokládá, že dnes existuje další opatření ochrany před povodněmi – jsou to české a (dále po proudu) durynské přehrady, které právě tak významnou měrou přispívají k ochraně před povodněmi na toku

Labe v Německu. Na základě takto existujících retenčních kapacit a skutečnosti, že německé přítoky hrají pro vznik labských povodní většinou jen podružnou roli, se nachází povodí Labe v mimořádné situaci. Na žádném jiném německém toku (Rýn, Dunaj, Wesera nebo Odra) neprofitují subjekty na dolním toku řeky v takové míře z opatření učiněných subjekty na horním toku. Vzhledem k těmto významným nadnárodním dopadům doporučují a plánují jak němečtí, tak i čeští projektoví partneři realizovat mj. následující kroky pro optimalizovanou preventivní ochranu před povodněmi na Labi:

- > Je třeba zintenzivnit česko-německou spolupráci na všech úrovních politiky, expertů a pracovníků administrativy jak v rámci trvale fungujících institucí v povodí Labe (např. MKOL), tak i v nadnárodních projektech.
- > V důsledku toho, že mezi lety 1932 a 1968 byly postupně zřízeny největší přehrady, vykazují profily Labe na německé straně dlouhé řady návrhových povodní s povodňovými událostmi jak neovlivněnými, tak i ovlivněnými. Dosavadní výpočty statisticky extrémních hodnot nedodávaly pro tyto profily žádné hydrologicky prokazatelné výpovědi. Společenství povodí Labe (FGG Elbe) a ústav hydrologie BfG vytvoří v rámci kooperací za použití matematických modelů pro mezinárodní povodí Labe předpoklady pro to, aby se mohly homogenizovat dlouhé řady návrhových povodní s tím, že tak dojde k aktualizaci povodňové statistiky. Na tomto místě je třeba také zahrnout do statistiky ty dopady na průběh povodní, které vyplývají ze snížení retenčních kapacit na přítocích středního toku Labe.

Literatura

- BfG (2006): Modellgestützter Nachweis der Auswirkungen von geplanten Rückhaltemaßnahmen in Sachsen und Sachsen-Anhalt auf Hochwasser der Elbe, BfG-1542, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BfG (2012): Bewertung von Einflüssen tschechischer und thüringer Talsperren auf Hochwasser an Moldau und Elbe in Tschechien und Deutschland mittels Einsatz mathematischer Abflussmodelle, BfG-1725, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz;
DOI: 10.567/BfG-1725-DT bzw. 10.567/BfG-1725-TSCH
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- IKSE (2009): Zweiter Bericht über die Erfüllung des Aktionsplans Hochwasserschutz Elbe im Zeitraum 2006 bis 2008, Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- KAŠPÁREK, L., O. NOVICKÝ, M. JENÍČEK, Š. BUCHTELA (2006): Influence of large reservoirs in the Elbe River basin on reduction of flood flows. T.G. Masaryk Water Research Institute, Prag.



Kontakt:

Marcus Hatz

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306-5574
Fax: 0261/ 1306-5280
E-Mail: hatz@bafg.de

Ročník: 1983

2003-2009

Studium geoekologie na univerzitě Karlsruhe (KIT)

od r. 2009

vědecký pracovník Spolkového úřadu hydrologie,
Koblenz

Práce na projektech:

- 2009-2012: Projekt EU programu INTERREG
„LABEL – Přizpůsobení se rizikům
povodní v povodí Labe“
- od r. 2009: Další vývoj hydrologického softwaru
pro vodní toky – FLYS, vypracová-
vaného v ústavu BfG
- od r. 2011: Projekt KLIWAS 4.05 „Studie procesů
vzniku ledových vrstev na vodních
cestách“



Kontakt:

Norbert Busch

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306-5227
Fax: 0261/ 1306-5280
E-Mail: busch@bafg.de

Ročník: 1954

1974-1980

Studium meteorologie na Rýnské Wilhelmově
univerzitě v Bonnu

od r. 1981

vědecký pracovník Spolkového úřadu hydrologie,
Koblenz

- od r. 1990: vedoucí týmu pro řešení úkolů
„Modelování vodních toků“
- od r. 1997: četné modelace metodou SOBEK –
zaměřené na hlavní vodní cesty

Projekty (výběr):

- od r. 2002: vedoucí projektu FLYS – vývoj
hydrologického softwaru pro vodní
toky
- 2004-2005: Důkaz 2010 o působnosti opatření ke
snížení vodních stavů podle akčního
plánu ochrany před povodněmi
Mezinárodní komise pro ochranu
Rýna
- 2009-2012: Projekt EU programu INTERREG
„LABEL – Přizpůsobení se rizikům
povodní v povodí Labe“

Očekávání plynoucí z projekcí budoucnosti z pohledu Společenství povodí Labe, regionální adaptační strategie v Sasku-Anhaltsku

Mathias Weiland a Sven Schulz

Úvod

Následující článek vznikl v souvislosti s kolokviem ústavu BfG „Budoucnost vodního režimu v povodí Labe“ konaného ve dnech 29. a 30.11.2012 a má základ v přednášce přednesené během této akce. Z důvodu komplexity tématu může článek poskytnout pouze přehled o stavu činnosti ve Společenství povodí Labe (dále FGG Elbe) a v jednotlivých spolkových zemích.

1 Rámec úvah

Se schválením Rámcové směrnice o vodní politice, směrnice 2000/60/ES, kterou se dne 23. října 2000 zřídil rámec pro pravidla opatření Evropské unie v oblasti vodní politiky, vešla v platnost rozsáhlá nová pravidla pro vodní hospodářství a ochranu vod v Evropě. Nové východisko této směrnice spočívalo v tom, koordinovat v Evropské unii snahy o ochranu vod v rámci povodí a formulovat konkrétní cíle pro stav vodstva, čili pro řeky, jezera, pobřeží, brakické a spodní vody. Navíc bylo uplatňování Rámcové směrnice o vodní politice opatřeno realizačními lhůtami, které bylo třeba splnit pokud možno do roku 2015.

Pro federativně uspořádanou Spolkovou republiku Německo představuje obsáhlé východisko směrnice 2000/60/ES, zejména hospodaření s vodami v rámci správ povodí, zvláštní výzvu. Deset spolkových zemí, které se nacházejí v povodí Labe, a to Bavorsko, Berlín, Braniborsko, Hamburk, Meklenbursko-Přední Pomořany, Dolní Sasko, Sasko, Sasko-Anhaltsko, Šlesvicko-Holštýnsko, Durynsko a spolková vláda jako centrála, se proto v roce 2004 dohodly na tom, že pro německou část mezinárodního povodí Labe založí pracovní skupinu Společenství povodí Labe (FGG Elbe).

Tím se položil základní kámen pro to, aby se zajistilo metodicky a obsahově harmonizované plánování hospodaření s vodami a příslušných opatření v německé části povodí Labe. Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL) zde přitom představuje organizační spojovací článek mezi státy Česká republika, Polsko a Rakousko, které svými částmi povodí rovněž patří k povodí Labe.

2 Povodí Labe

Labe pramení v Krkonoších ve výši 1.386 m n.m. a ústí po 1.094 km u města Cuxhaven do Severního moře. Velikost povodí měří 148.268 km². Na území Spolkové republiky Německo připadá 65,4 %, na území České republiky 31,8 %, a na Polsko a Rakousko 0,2 %, resp. 0,6 % územní plochy. Podle velikosti plochy svého povodí představuje tak Labe čtvrté největší povodí střední a západní Evropy. Oblast patří k mírným podnebním pásmům a nachází se v oblasti přechodu z vlhkého atlantického podnebí západní Evropy k suchému vnitrozemskému podnebí východní Evropy.

51 % celkové plochy se nachází ve výši nižší než 200 m n.m., oproti tomu jen 29 % povodí lze přiřadit do poloh vyšších než 400 m n.m., čili do středohoří. Na průměrný úhrn srážek ve výši 628 mm připadá výpar ve výši 445 mm. Odtokový režim je podstatně ovlivněn sněžnou pokrývkou a táním sněhu a proto jsou pro něj příznačné hlavně zimní a jarní povodně.

3 Charakteristika dané lokality

Vedle udržitelného využívání vod a znovunastolení dobrého ekologického stavu je zajišťování vody v dostatečném množství a kvalitě pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou podstatným cílem Rámcové směrnice o vodní politice. Zásobování vodou se chápe jako součást prevence ochrany života a má tak při uplatňování evropské směrnice v povodí Labe mimořádný význam.

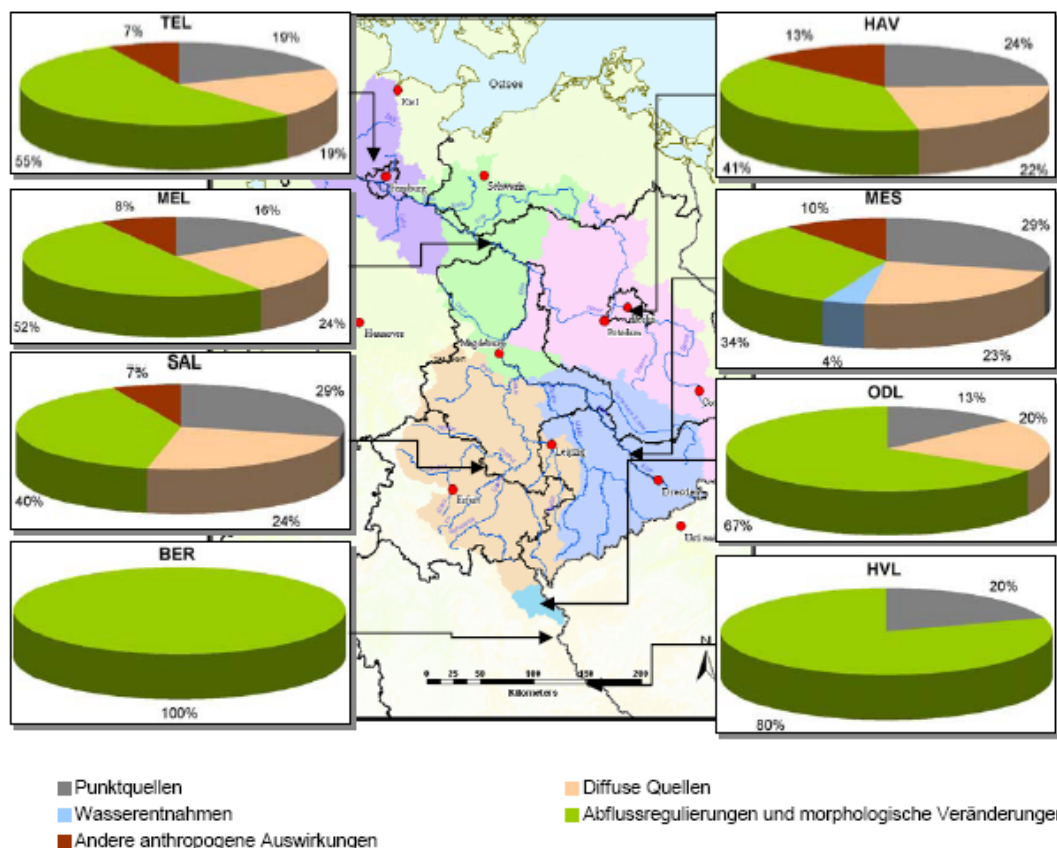
S provedením evidence a charakteristiky vodních zdrojů podle článku 5 směrnice 2000/60/ES, který byl schválen v roce 2005, byly v FGG Elbe v otázce těchto požadavků realizovány důležité přípravné práce; jako součást zprávy FGG Elbe byli pojmenováni důležití uživatelé vodních zdrojů a pro stávající převody vod byla provedena bilance transferovaných objemů vod. Přestože už v evidenci vodních zdrojů z r. 2005 se konstatovalo, že v rámci FGG Elbe není zaznamenán žádný akutní nedostatek vody¹, byl tématický komplex „Odběry vody a převody vod“ identifikován jako důležitá otázka nadregionálního významu pro vodní hospodaření v německé části povodí Labe. Důvodem pro to byly mj. nízké srážkové úhrny v částech povodí, jako např. ve středoněmecké oblasti sucha, popř. nároky na spotřebu vody jednotlivých uživatelů, např. v průmyslu a zemědělství.

Otázka dostupnosti vodních zdrojů v poměru k odběrům vody a s tím spojených druhů jejího využívání jsou vedle jiných nadregionálních otázek identifikovaných v FGG například také

- > hydromorfologické změny povrchových vod,
- > signifikantní látkové zátěže z živin a škodlivin a
- > následky z povrchové těžby uhlí a související dopady.

V analýze plánů nakládání s vodami v povodích z r. 2009 (FGG Elbe 2009) a zde uvedených opatření pro zlepšení stávajícího stavu se však konstatuje, že konkrétní opatření týkající se „Odběrů z povrchových vod“ byla opatření skutečně provedena pouze v 9 ze 61 plánovacích jednotek v německém povodí Labe. Zaujímají tak ve srovnání s ostatními shora uvedenými důležitými otázkami nakládání s vodami jen velmi malý podíl.

¹ Podle KUNDZEWICZ et al. (2007) trpí země nedostatkem vody tehdy, když je na obyvatele k dispozici méně než 1.000 m³ obnovitelného zdroje vody za rok.



Obr. 1: Podíl stanovených druhů opatření pro snížení signifikantního znečištění v povrchových vodách v koordinovaných územních částech FGG Elbe (pramen: jednatelství FGG Elbe)

Tento výsledek nepřekvapuje, protože důvody nedosažení ekologických cílů Rámcové směrnice o vodní politice nelze ve stěžejních bodech zdůvodnit deficitem v dostupnosti vodních zásob nebo v disponibilním množství vody ve vodních útvech, nýbrž je lze hledat především ve způsobu využívání kulturní krajiny a v nadměrném ovlivnění stavu vodstva člověkem.

V oblasti podzemních vod je situace stejná, protože již 96 % zvodní v německém povodí Labe požadavky Rámcové směrnice na dobrý chemický a objemový stav splňují. Ve zbývajících částech zvodní jsou nadměrné odběry vody a s tím spojená nadměrná exploatace vodních zdrojů jen v malé části důvodem pro nedosažení ekologických cílů. Hlavními problémy v podzemních vodách jsou v podstatě zátěže živinami a škodlivinami z punktuálních a difúzních zdrojů znečištění.

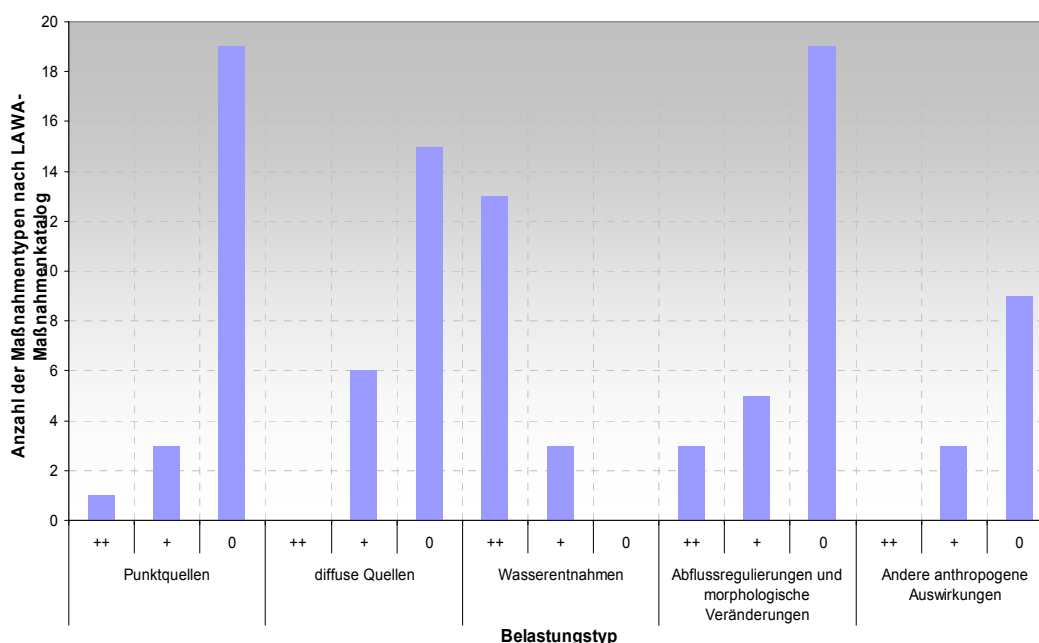
Jako shrnutí lze konstatovat, že nedostatek vody nebo vodní deficit s ohledem na dosažení cílů uvedených v Rámcové směrnici o vodní politice nehraje v FGG Elbe žádnou významnou roli. Důvodem pro to je, že díky centrálnímu zásobování vodou a udržitelnému způsobu využívání příslušných výskytů podzemní vody je zásobování vodou zajištěno. Ve Spolkové republice Německo pochází 70 % pitné vody ze zdrojů podzemní a pramenité vody (srov. UBA, Spolkový ústav životního prostředí, 2010.). Zvláště v nových spolkových zemích se cca 63 % pitné vody získává z podzemní vody a průměrně 12 % z vodních přehrad. Na základě geografické situace je tento podíl ve spolkových zemích Durynsko a Sasko, který činí někdy až 32 %, podstatně vyšší (srov. BÖHLER et al. 1992). Kromě toho je třeba konstatovat,

že reálná spotřeba vody se od roku 1990 silně snížila. Spotřeboval-li např. jeden obyvatel Saska-Anhaltska v roce 1990 ještě 330 l/d, tak spotřeba vody v roce 2009 obnášela asi 132 l/d (LAU ST & LAV ST 2011 – Statistika Zemského úřadu pro životní prostředí a Zemské pracovní skupiny pro ochranu spotřebitele).

4 Strategie adaptace na klimatickou změnu

V provedené evidenci vodních zdrojů v roce 2005 a v odvození důležitých otázek k řešení v nakládání s vodami v FGG Elbe v roce 2008 měla otázka nutnosti začlenit do úvah také budoucí změny klimatických poměrů druhořadý význam. Avšak relativně paralelně se na základě obsáhlých výzkumných záměrů realizovaných v povodí Labe, např. v projektu GLOWA Elbe (Global Change and Hydrological Cycle), ukázalo, že pro plánovaná opatření na dosažení cílů Rámcové směrnice o vodní politice může ze změny klimatických poměrů v povodí Labe vyplynout také potřeba adaptovat příslušná opatření.

Klimatická změna a vypracovávání adaptačních strategií se dostávaly stále více do popředí zájmu. Jako jeden z prvních kroků byl ve vodohospodářském plánu FGG Elbe v roce 2009 proveden první odhad vlivů klimatické změny na uplatňovaná opatření, a to prověřením klimatických dat, tzv. „ClimaCheck“. Cílem bylo odhadnout zranitelnost či odolnost opatření vůči klimatické změně a zohlednit je také ve smyslu udržitelného plánování opatření.



Obr. 2: Typ znečišťování a počet opatření podle katalogu opatření LAWA (Pracovní skupina spolkových zemí pro vodní hospodářství) ve srovnání
++ přímý vliv, + smíšený vliv, 0 nepřímý vliv (žádná relevantní hodnota)

Zde se ukázalo, že zejména opatření zaměřená na snížení škodlivých zátěží z puntuálních a difúzních zdrojů a na zlepšení průchodnosti vodních toků, a rovněž morfologické změny, nejsou ovlivňovány klimatickými změnami anebo jsou jen velmi málo ovlivňovány (**Obr. 2**), avšak opatření vztahující se na vodní režim/odběry vody vykazují silnou senzitivitu (srov. FGG 2009).

Ve Společenství Labe došli pracovníci proto k názoru, že bude nutné dále rozpracovat vědomostní základnu dopadů klimatické změny na celý vodní režim a vypořádat se se snižováním přirozených průtoků v důsledku odběrů vody nebo převodů vod. Aby bylo možné vyrovnávat se v budoucnosti udržitelným způsobem se změněnými podmínkami, je mimoto nutné uplatňovat řízení objemů vodních zdrojů pro tok Labe a jeho přítoky s územním přesahem (srov. FGG 2009).

5 Další kroky

Z důvodu cyklickému procesu uplatňování Rámcové směrnice o vodní politice je v roce 2013 nutné prověřit nejdůležitější otázky nakládání s vodami stanovené v roce 2008 a přizpůsobit je aktuálním rámcovým podmínkám. V FGG Elbe už tento proces proběhl a pro nejbližší vodohospodářský cyklus 2016 až 2021 byly v rámci FGG Elbe jako stěžejní úkoly identifikovány a odsouhlaseny vodohospodářské otázky, které jsou shrnuty do následujících tématických komplexů:

- > zlepšení struktury vodních toků a jejich průchodnosti,
- > snížení signifikantních látkových zátěží z živin a škodlivin,
- > snížení regionálních dopadů z povrchové těžby uhlí,
- > zaměření na udržitelnou úpravu a řízení objemů vodních zdrojů,
- > zohlednění následků klimatické změny.

Tím lze reagovat na poznatky získané v mezidobí z četných výzkumných projektů z oblasti klimatické změny v povodí Labe a také na vyhodnocení vodohospodářského plánu povodí 2010, které je třeba důsledně dále rozvíjet. Propojením klimatické změny s důležitými otázkami nakládání s vodami lze dosáhnout toho, že bude zajištěno udržitelné plánování opatření pro druhý vodohospodářský cyklus.

6 Závěry

Klimatická změna a vypracování adaptačních strategií v souvislosti s uplatňováním Rámcové směrnice o vodní politice jsou pevně zakotveny v nadregionální činnosti Společenství povodí Labe. Formulováním důležitých vodohospodářských otázek pro druhý cyklus plánu povodí let 2016 až 2021 se dostaly do popředí pozornosti všechny otázky s tím spojené. Současným cílem je dále rozvíjet výsledky výzkumu z celé řady výzkumných záměrů v povodí Labe (GLOWA, KLIWAS aj.) a jejich dopadů na disponibilní zásoby vody/vodní režim a vyvodit pro další proces příslušné závěry.

Spolkové země sdružené v FGG Elbe pracují nyní intenzivně na regionalizaci klimatických změn, které se nyní projevují. Úkolem FGG Elbe může být i nutnost identifikovat nejdůležitější území, v nichž dochází k problémům v dostupnosti vody z důvodu konkurujících si uživatelských zájmů, a vyvodit z toho nadregionální strategie pro potřebná řešení s přihlédnutím ke změnám v užívání vody a ke klimatické změně.

Dalším důležitým bodem při vypracovávání adaptačních strategií je zapojení stávajících retenčních kapacit (Vltavská kaskáda, převádění vody mezi vodními toky, vodní díla) do úprav a řízení průtoků, zejména s ohledem na nadregionálně řešené řízení nízkých stavů vod. Dalším aspektem, viděno ze střednědobého a dlouhodobého pohledu, bude také zahrnutí problematiky demografické změny do budoucích úvah.

V oblasti vědeckých aktivit existuje další potřeba výzkumu v upřesnění projekcí směrem k prognózám pravděpodobností výskytu určitých jevů. Je třeba blíže zkoumat dopady klimatické změny na další stěžejní témata těch opatření, která se budou zabývat otázkou živin, škodlivin a hydromorfologie, zejména v souvislosti se změnou odtokových poměrů, a také v souvislosti s příp. výskytem vyšších teplot. Tímto způsobem lze lépe provádět odhady odolnosti, příp. senzitivity daných opatření.

Literatura

- BÖHLER, E., B. WRICKE, G. BALDAUF (1992): Beitrag zur Trinkwassersituation in den neuen Bundesländern. In: Vom Wasser. Band 79. S. 281-300. Weinheim.
- FGG Elbe (Hrsg.) (2009): Bewirtschaftungsplan nach Art. 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den deutschen Teil der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Magdeburg.
- KUNDZEWICZ, Z. W. et al. (2007): Freshwater Resources and their Management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 173-210.
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU ST) & Landesamt für Verbraucher-schutz Sachsen-Anhalt (LAV ST) (2011): Bericht zur öffentlichen Wasserversorgung in Sachsen-Anhalt für das Jahr 2009. Halle, Magdeburg.
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010): Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 1 Grundlagen. Dessau-Roßlau.

Kontakt

Mathias Weiland

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und
Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 5
39104 Magdeburg
Tel.: 0391/ 581 1361
Fax: 0391/581 1500
E-Mail: mathias.weiland@lhw.mlu.sachsen-anhalt.de

Sven Schulz

Flussgebietsgemeinschaft Elbe
Otto-von-Guericke-Straße 5
39104 Magdeburg
Tel.: 0391/ 581 1461
Fax: 0391/581 1400
E-Mail: sven.schulz@fgg-elbe.de

Potřeba hodnocení následků změn klimatu pro plány nakládání s vodami

Jiří Skořepa

1 Úvod

Zajištění minimálních průtoků v oblasti dílčího povodí Horního a středního Labe, dílčího povodí Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry při současném zabezpečení požadavků na odběry vody není již v současné době 100 % a vzhledem k projevujícím se dopadům klimatické změny lze předpokládat, že tato situace do budoucna stále obtížnější.

2 Vodohospodářská bilance

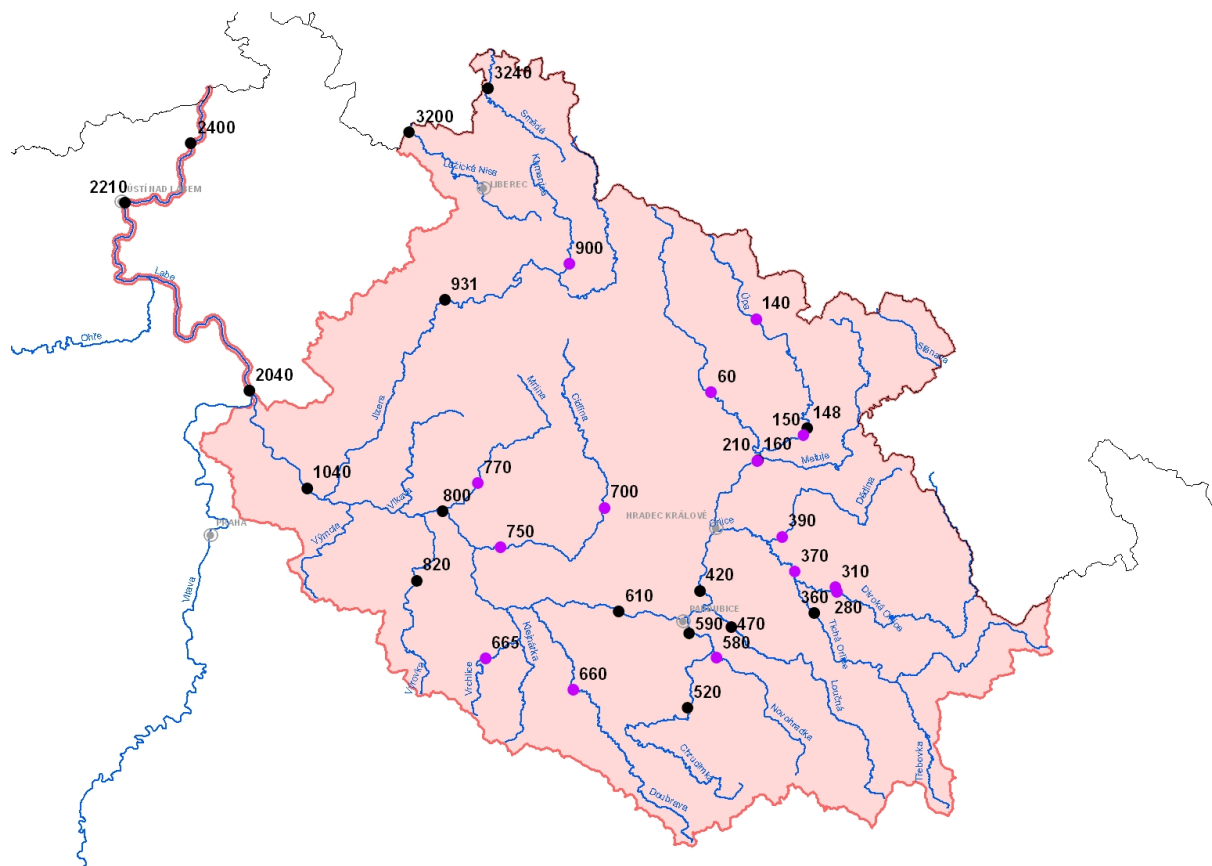
Vodní zákon zavedl nabytím své účinnosti dnem 1. ledna 2002 nový institut - Vodní bilance. V rámci své územní působnosti, která zahrnuje mimo dílčí povodí Horního a středního Labe také dílčí povodí Lužické Nisy a ostatních přítoků Odry a dále též vlastní tok Labe v úseku Mělník - státní hranice, zpracovává Povodí Labe, státní podnik každoročně pro toto správní území vodohospodářskou bilanci. Vodní bilance sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. Hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob povodí, území nebo vodního útvaru za daný časový interval. Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu.

2.1 Bilanční hodnocení

Součástí vodohospodářské bilance je i bilanční hodnocení, jehož podkladem jsou údaje o realizovaných odběrech a vypouštěních, manipulacích na vodních dílech, hodnoty minimálních průtoků a údaje o množství povrchových vod v bilančních profilech státní sítě. Údaje o průměrných měsíčních průtocích v bilančních profilech státní sítě zpracoval Český hydrometeorologický ústav v rámci zpracování hydrologické bilance. Bilanční hodnocení vodního toku se provádí pomocí součtové čáry ovlivnění vodního toku v podélném profilu.

V součtové čáře ovlivnění jsou odběrům povrchových a podzemních vod přisouzeny záporné hodnoty množství vod a vypouštěným vodám jsou přisouzeny kladné hodnoty. Čára ovlivnění určuje celkovou změnu průtoku v místě užívání vody. Do výpočtu je zařazeno užívání vody na přítocích s promítnutím v profilu zaústění přítoku do hodnoceného toku. Bilanční hodnocení provádí Povodí Labe, státní podnik od roku 2002 a to sice na celkem 32 vodoměr-

ných stanicích, neboli bilančních profilech státní sítě (Obr. 1). Principem bilančního hodnocení hospodaření s vodou v bilančních profilech je porovnání požadavku na zachování minimálního bilančního průtoku s průměrnými měsíčními průtoky ovlivněnými. Tyto průtoky v sobě zahrnují všechny aktivity hospodaření s vodou. Je nutné mít na zřeteli, že bilance množství povrchových vod ve vodních tocích se hodnotí za kalendářní rok, zatímco hydrologický režim povrchového odtoku se hodnotí za rok hydrologický. Vyhodnocení bilančního stavu může nabývat hodnot od 1 do 6, přičemž bilanční stav 1 - 2 vyjadřuje uspokojivý a vyvážený stav vodních zdrojů, zatímco bilanční stav 3 - 6 signalizuje neuspokojivý stav vodních zdrojů.

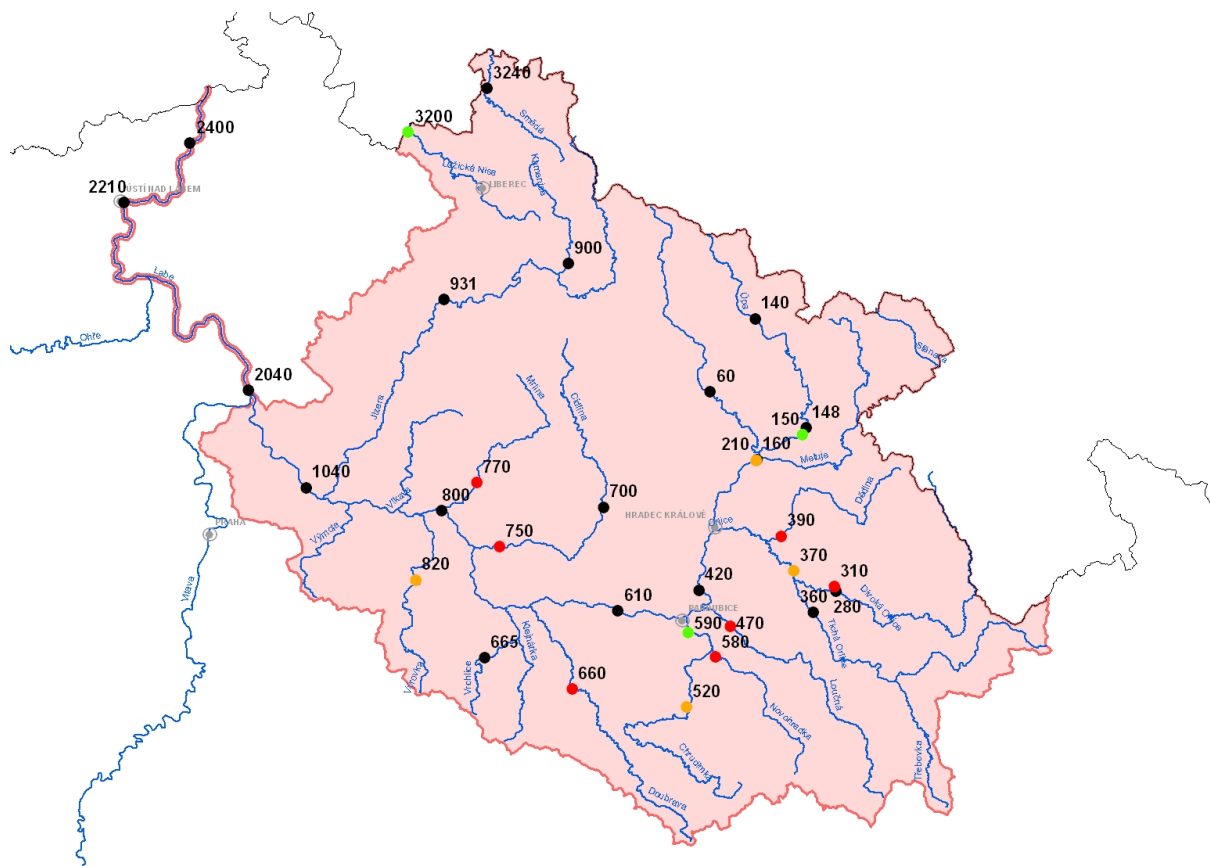


Obr. 1: Mapa územní působnosti Povodí Labe, státní podnik s vyznačenými bilančními profilemi státní sítě. Na fialově označených bilančních profilech bylo od roku 2002 minimálně jednou dosaženo neuspokojivého stavu vodních zdrojů.

3 Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe

Povodí Labe, státní podnik nechalo v roce 2008 zpracovat „Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe“. Zpracovatelem byl Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. V povodí Labe byla modelována hydrologická a vodohospodářská bilance pro období let 2071-2100 s referenčním rokem 2085 modelem Bilan a modelem vodohospodářské soustavy, a to pro 12 profilů vodoměrných stanic, 13 profilů vodních nádrží a 4 profily vodárenských odběrů s použitím scénáře klimatické změny RCAO

SRES A2. Vyhodnocena byla zabezpečení významných odběrů vody a zachování minimálních průtoků v kontrolních profilech a pod vodními nádržemi. Vliv menších odběrů (včetně odběrů podzemní vody) a vypouštění vody byl souhrnně připočten k jednotlivým profilům soustavy. Vodohospodářská bilance byla vyhodnocena pro hydrologické podmínky ovlivněné klimatickou změnou a pro současné podmínky užívání vod. Určení bilančních stavů vycházelo z kritérií uvedených v ČSN 75 2405 „Vodohospodářská řešení vodních nádrží“. Při plném (tzv. bezporuchovém) zajištění požadavků na odběry vody a minimální průtoky byl bilanční stav určen jako aktivní, při zabezpečení v souladu s hodnotami doporučenými ČSN 75 2405 byl bilanční stav určen jako vyvážený, při zabezpečení nižší než doporučené ČSN 75 2405 byl bilanční stav určen jako pasivní (Obr. 2). Norma uvádí doporučené hodnoty zabezpečení podle trvání v závislosti na významu zabezpečovaného užívání vody a dle třídy významnosti jednotlivých druhů užívání vody. Bilanční stav je hodnocen v kontrolních profilech porovnáním zajištěním požadavků s výše uvedenými kritérii pro dosažení příslušného bilančního stavu.



Obr. 2: Mapa územní působnosti Povodí Labe, státní podnik s vyznačenými bilančními profilem státní sítě. Aktivní bilanční stav zobrazen zeleně, vyvážený zobrazen žlutě, pasivní zobrazen červeně.

Ačkoli ve studii zpracované Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka nebyly zahrnuty všechny bilanční profilem využívané pro vodohospodářskou bilanci je viditelná částečná shoda mezi Obr. 1 a Obr. 2.

4 Řešení bilanční napjatosti profilů

Jednou z možností jak vyřešit bilanční napjatost profilů je výstavba vodních nádrží. Do konce roku 2009, kdy byly schváleny plány oblasti povodí byl v platnosti seznam výhledových nádrží uvedený v publikaci SVP č. 34 z roku 1988. V povodí Horního a středního Labe bylo v seznamu uvedeno celkem 100 nádrží, z toho bylo 39 hájených a 61 evidovaných. Hájené nádrže byly rozděleny do tří kategorií hájení podle předpokládaného termínu zahájení výstavby. Původně měl být seznam lokalit vhodných pro akumulaci podzemních vod součástí Plánu hlavních povodí České republiky. Hodnocení původních lokalit z SVP prováděl tzv. expertní tým složený ze zástupců ministerstev, krajů, zástupců ochrany přírody, Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, Českého hydrometeorologického ústavu a správce povodí. Hodnocení probíhalo s ohledem na zajištění kompenzace vlivů klimatické změny. Pro hodnocení byly k dispozici výsledky studie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka „Odhad objemu nádrží potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny“. Celkem byl pro Plán hlavních povodí České republiky vybrán seznam 39 lokalit. Tento seznam však do Plánu hlavních povodí České republiky nakonec zařazen nebyl. Do hodnocení lokalit pro zpracování Generelu lokalit pro akumulaci povrchových vod byl použit seznam 34 nádrží vzešlý z hodnocení expertním týmem. V prvním kole se seznam zmenšil na 23 lokalit, po projednání s Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky pak o dalších 8 na konečných 15 lokalit. Po schválení Generelu lokalit pro akumulaci povrchových vod v září 2012 je finální počet pouhých 13 nádrží. Těchto 13 vytypovaných lokalit však nepokrývá potřeby všech bilančně pasivních profilů, které ze studie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka vzešly. Tato skutečnost se dotýká např. toku Cidlina, Novohradka nebo Dědina.

Na základě jednání s Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky je v těchto lokalitách možná jen výstavba poldrů, které sice pomohou se snížením kulminačních průtoků při povodňových stavech, ale nemají žádný vliv v případě nízkých vodních stavů, kdy je třeba množství vody v korytech vodních toků naopak dotovat.

Další možností k řešení bilanční napjatosti je zaměření na úspory ve spotřebě vody využitím technologií, které šetří vodu. Efektivní využití odpadních a srážkových vod. Omezení ztrátivosti vody v potrubí. Recirkulaci vody je možno využít v průmyslu nebo domácnostech. V zemědělství to dost dobře možné není. Vzhledem k potřebné technologii ještě není recirkulace vody v průmyslu tak rozšířená.

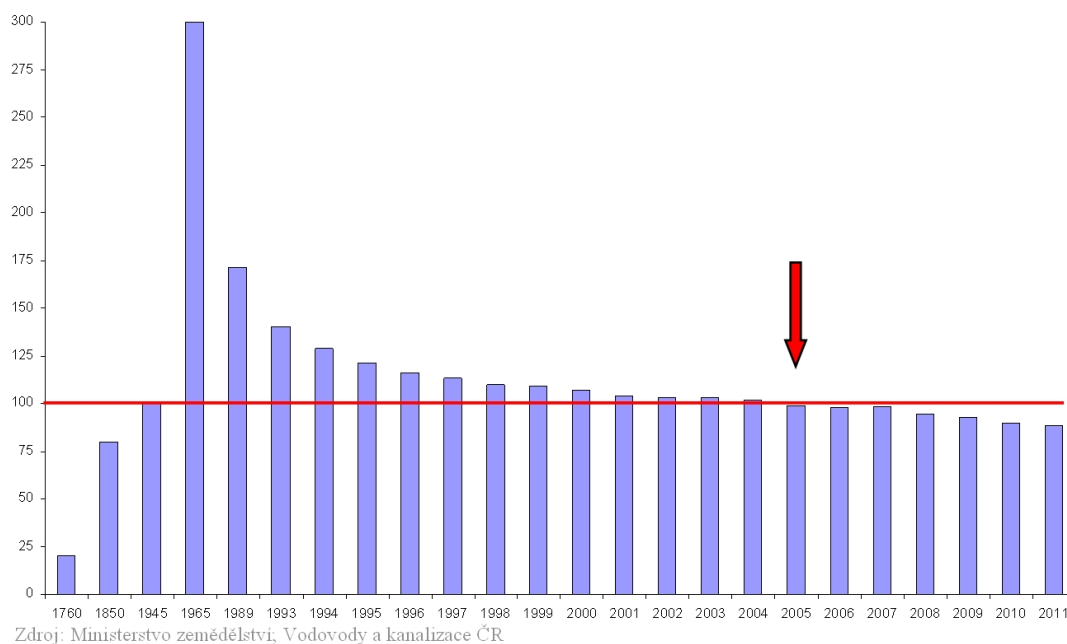
Tabulka 1

Nejúspěšnějšími uživateli hospodárných spotřebičů ve vybraných evropských zemích jsou obyvatelé Francie a Nizozemí a jak je vidět v České republice máme ještě určité rezervy

	Úsporná pračka	Záchod s děleným splachovačem	Úsporná sprchovací hlavice
Česká republika	28%	67%	56%
Francie	62%	61%	67%
Itálie	58%	42%	43%
Nizozemsko	63%	63%	58%
Norsko	45%	34%	59%
Švédsko	44%	40%	48%
Průměr vybraných zemí	50%	51%	55%

Zdroj: Ernst & Young, str.9 tab.3

Spotřeba vody v domácnostech klesá zejména kvůli růstu cen vody a díky úspornějším spotřebičům (Obr. 3), avšak paradoxně se snižujícím se množstvím odebírané vody nám její cena vzrůstá.



Obr. 3: „Specifické množství vody fakturované pro domácnosti“ v České republice v litrech na jednoho obyvatele za den.

Od roku 1989 spotřeba vody v České republice v litrech na jednoho obyvatele za den neustále klesá. Od roku 2005 je dokonce nižší než 100 litrů na osobu za den, což je hygienické minimum deklarované Světovou zdravotnickou organizací.

Máme tedy ještě nějaké rezervy, ale kam až jsme schopni ve snižování spotřeby vody zajít?

Literatura

ERNST & YOUNG (2012): Analýza stavu vodárenství ve vybraných evropských zemích

Ministerstvo zemědělství ČR: Vodovody a kanalizace ČR 2000-2010

Povodí Labe, státní podnik: Vodohospodářská bilance za rok 2002-2011

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (2008): Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe



Kontakt:

Jiří Skořepa

Povodí Labe, státní podnik
Víta Nejedlého 951
Hradec Králové 500 03
Tel.: +420 495 088 676
Fax: +420 495 088 652
E-Mail: skorepaj@pla.cz

1995-2001

Studium Fakulta stavební České vysoké učení technické v Praze

od 2004

Referent referátu hydrotechniky odboru péče o vodní zdroje Povodí Labe, státní podnik

Účast na projektu:

- od 2004: stanovování záplavových území vodních toků (1-D modelování Mike11, HEC-RAS)
- 2007: projekt Leonardo da Vinci - WALTER - SK/05/B/F/PP - 177 435 „Teaching and learning in Virtual Learning Environment for Water Management“
- 2010-2012: projekt 1CE037P3 INTERREG IV B Central Europe LABEL - pracovní skupina RISK
- 2013: projekt SedBiLa „Význam Bíliny jako historického a současného zdroje znečištění pro nakládání se sedimenty v povodí Labe“

Potřeba informací o dopadech klimatické změny – otázky z pohledu provozovatele vodních cest

Thomas Gabriel

1 Úvod

Správa vodních cest a říční dopravy (WSV) má spolkovou působnost a je v rámci svého zákonného pověření příslušná pro zajišťování bezpečnosti a hladkého průběhu lodní dopravy na hlavních vodních cestách a jejím dalším úkolem je rovněž regulování průtoků v souvislosti s říční dopravou. K tomu patří zejména zajištění hloubky koryta potřebnou pro lodní dopravu na řekách a kanálech regulovaných režimem přehrad a splnění nároku, zajišťovat pro lodní dopravu na volně tekoucích řekách po celý rok co nejlepší podmínky k vykládce zboží. Za těchto podmínek vyvstávají pro otázku klimatické změny a s tím spojené důsledky pro hydrologickou bilanci nejrůznější otázky a očekávání týkající se plánování, provozu a údržby příslušných vodních cest, jejichž cílem je vytvořit vhodné adaptační strategie pro budoucnost. Je třeba získat v dané situaci co nejoptimálnější prokazatelné poznatky o konkrétních hydroklimatických procesech v povodích. Všeobecně uznané výpovědi o šíři a záběru možného vývoje a trendů jsou pro orientaci v problému však nezbytné.

2 Obavy provozovatele vodních cest

Potřebu informací a odpovědi na otázky provozovatele vodních cest ve vztahu ke klimatické změně je možné nejlépe odvodit z obav, které tato otázka vzbuzuje. Pro Ředitelství vodních cest a říční dopravu Východ (WSD Ost), jemuž jsou podřízeny Úřady pro vodní cesty a říční dopravu (WSÄ), resp. také Úřady pro novou výstavbu vodních cest (WNÄ), mají tyto obavy zásadní význam, protože tato místa jsou příslušná pro plánování, provoz a údržbu cca 2.350 km vodních cest mezi Labem a Odrou (obr. 1). Změněné hydroklimatické podmínky mají tak dopady jednak na využívání vodních toků jako dopravních cest, ale v jejich důsledku je třeba provádět i změny a adaptační opatření při údržbě toků, pokud se na nich zajišťuje lodní doprava, a samozřejmě je třeba je zohlednit i při plánování budoucích dopravních cest.



Obr. 1: Mezi Labem a Odrou; oblast úkolů Ředitelství WSD Ost

3 Otázky obecného charakteru na výzkum klimatu

Předestřít možnosti a limity aktuálního výzkumu klimatu jsou v této souvislosti v popředí zájmu. Zde je třeba jasně zdůraznit, jaký kvalitativní charakter tyto výpovědi s ohledem na budoucí vývoj klimatu mají. Otázkou je, zda jsou formulovány na základě konkrétních prognóz, nebo zda jsou výsledkem scénářů a projekcí změn klimatu, které podle toho či onoho vstupního předpokladu a použitého typu modelu mohou pak vykazovat zcela odlišné výsledky.

Pokud podle dnešního stavu není ještě možné učinit detailní prognózy, jsou východiska multimodelů, která svými výsledky zobrazují spektrum možného vývoje, dobrým východiskem pro možnosti, jak budoucí průběh změn klimatu ohraničit. Jako další krok by bylo nutné vymezit pravděpodobnost důvěryhodnosti pro jednotlivé oblasti vývoje. Také diferenciací mezi klimaticky podmíněnými změnami ve vodním režimu v blízké budoucnosti a změnami, které mohou nastat teprve v několika dalších dekádách, má pro předvídatelné plánování mimořádný význam.

Zásadní věcí z pohledu provozovatele vodních cest je propojení všech výsledků z oblasti výzkumu klimatu. Rozdílné nebo rozporuplné výpovědi ke klimatickým změnám v hydrologické bilanci by vedly ve svém důsledku ke znejistění při vymezování a formulaci potřeb budoucích opatření.

Pro povodí Labe to znamená, že se dosud vypracované výstupy z výzkumu klimatu mohou stát spolehlivou plánovací základnou tehdy, pokud se výpovědi formulované na základě různých východisek výzkumu budou harmonizovat a v optimálním případě se také navzájem budou doplňovat.

Z tohoto důvodu je předkládán důležitý návrh, aby dosud vypracované výstupy, k nimž dospěly různé instituce a výzkumné svazy činné pro povodí Labe v rámci výzkumných projektů GLOWA Labe a KLIWAS Labe, společně s výsledky průzkumů o klimatické změně provedené na české straně, vyhodnotily ve společném projektu a provedlo se vzájemné srovnání. Pro pověření tímto záměrem by bylo nejvhodnější zastřešení ze strany Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL).

4 Potřeba informací pro plánování vodních cest

Potřeba informací k obecně vnímanému vývoji klimaticky podmíněných změn ve vodním režimu povodí Labe a k otázce kvality výpovědi o těchto možných změnách má zásadní význam. Za této situace vyvstává také potřeba konkrétních informací o hydroklimatických změnách ve vztahu k provozování vodních cest a o nutných opatřeních, která z toho pro jejich údržbu vyplývají.

Mimořádně zajímavé jsou v detailu zvláště údaje o očekávaných změnách na odtokové poměry volně tekoucích řek. Změny pro návrhové povodně i nízké vodní stavy mají přímý dopad na využitelnost, popř. spolehlivost řeky jako dopravní cesty. Zde je třeba uvést např. možné změny průměrného počtu dní se spolehlivě udávanými minimálními hloubkami koryta nebo dní s omezenou průplavností pod mosty v důsledku příliš vysokých hladin. Pro údržbu vodních cest vyvstává mimoto otázka, do jaké míry lze v důsledku změn průtočnosti očekávat dopady na koryto řeky a tím i na aspekty stability regulačních zařízení, popř. jaké mohou být dopady na jejich funkčnost, z nichž by vyplynula potřeba provádět adaptačních opatření.

Na vodních tocích využívaných pro lodní dopravu a regulovaných přehradami vyplývají pro průtoky v oblastech nízkých vodních stavů v souvislosti s budoucími klimatickými změnami otázky, jaké budou dopady na jednotlivé horní hladiny zásobního objemu ve vzdutích a jaké budou také možné změny časově omezené disponibility hloubky plavebního koryta, kterou provozovatel vodních cest doposud zajišťuje. Pro plánování provozu vodních děl na vodních cestách jsou v popředí zájmu pokud možno co nejkonkrétnější výpovědi o hydroklimatických změnách.

Vedle přímých dopadů hydroklimatických změn na dostupné zásoby vody jsou z pohledu nautiky pro bezpečnost a snadnost lodního provozu zajímavé také otázky týkající se případných změn povětrnostních podmínek. To se týká např. průměrného počtu ledových dní, kdy se musí lodní doprava na řece uzavřít. Podobně to platí i pro dny s celodenní mlhou.

Pokud jsou k dispozici průkazné poznatky a výpovědi ke zde uvedené potřebě informací z pohledu provozovatele vodních cest, je třeba je doplnit o hodnocení rizik týkajících se očekávaných dopadů vyplývajících ze změn klimatu tak, aby bylo možné na ně reagovat a vypracovat potřebné adaptační strategie.

V této souvislosti je také třeba odpovédět na otázku, zda jednotlivá dílčí povodí Labe jsou hydroklimatickými změnami postížena stejnou měrou, nebo zda jsou nutné diferencované výpovědi pro dílčí povodí labského prostoru. Z hodnocení rizik společně s pozorováním zaměřeném na dílčí povodí může případně pro údržbu toků využívaných pro dopravu vyplynout potřeba realizace technických adaptačních řešení a vodohospodářských adaptačních opatření (retence vody pro fáze nízkých vodních stavů, navýšení manipulovatelných hladin, přehradních hladin, převádění vody z regionů s nadbytkem vody apod.).

5 Shrnutí a výhled

Zodpovězení otázek o dopadech klimatické změny a následků pro hydrologickou bilanci v povodí Labe má pro provozovatele vodních cest zásadní význam. Dostupné zásoby vody v budoucnosti, distribuce odtoků během roku a vývoj dalších hydroklimaticky podmíněných parametrů, jako jsou např. ledové dny, tvoří důležitý podklad pro plánování provozu a údržby vodních cest. Je třeba získat výpovědi o průkaznosti a kvalitě výsledků, popř. o limitech zvolených metodických východisek. Stejně nezbytné je však také, aby se stávající výsledky z výzkumu klimatu a vodního režimu v povodí Labe sjednotily a spojily na národní a mezinárodní úrovni. Díky Mezinárodní komisi pro ochranu Labe (MKOL) je zde k dispozici vhodná instituce, pod jejíž patronací se toto může podařit.

Literatura

BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): KLIWAS, Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland; 2. Statuskonferenz, Bonn, Mai 2012



Kontakt:

Thomas Gabriel

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost
Gerhart-Hauptmann-Straße 16
39108 Magdeburg
Tel.: 0391/ 2887 3442
Fax: 0391/ 2887 3030
E-Mail: thomas.gabriel@wsv.bund.de

Ročník 1963

1984-1991

Studium geografie na univerzitách v Göttingenu a Hamburku

1991-1992

Spolupráce s projektovou kanceláří jako externí spolupracovník

1993

Zaměstnanec pro vědu na Technické univerzitě v Berlíně, Institut geografie

Od r. 1993

Zaměstnanec Ředitelství vodních cest a říční dopravy Východ (WSD Ost)

Rozvoj vodní dopravy v ČR – Labská vodní cesta

Jan Bukovský

1 Vodní doprava a společnost

Rozvoj lidské společnosti a zakládání sídel je historicky spojeno s vodními toky, které zajišťovaly prostupnost krajiny a představovaly zdroj energie a vody. Na toky a přilehlé nivy bylo vázáno zemědělství, doprava i řemesla, později průmysl. V návaznosti na postupnou kolonizaci rozsáhlejších území začala společnost více využívat jiných pozemních dopravních módů a tak stále více přetvářela své životní prostředí. Budování jejich infrastruktury totiž velmi často představuje významnější zásahy do krajiny, než je tomu při využívání vodních toků.

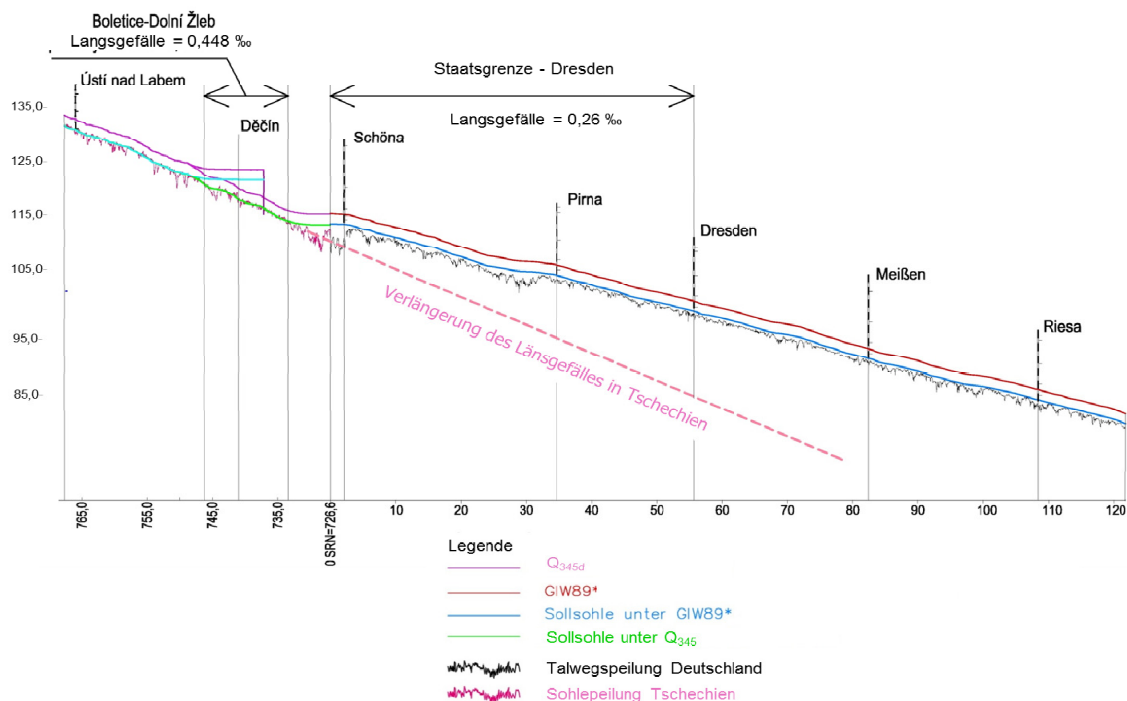
2 Labská vodní cesta

Labský dopravní koridor má zásadní význam pro přepravu produktů a zboží zejména pro ČR, ale i pro ostatní středoevropské země. Hlavním cílem je zajištění udržitelného dopravního systému v tomto koridoru v plné multimodalitě, což zahrnuje dopravu silniční, železniční a vodní. Labe je součástí transevropské dopravní sítě TEN-T a její „core-network“. Pro ČR představuje z hlediska plavby jediné spojení s rozvinutou sítí evropských vnitrozemských vodních cest a napojení na námořní přístavy. Existují však dlouhotrvající problémy ve stabilitě tohoto napojení, které jsou způsobené lokálními úzkými hrdly na vodní cestě (obr. 1).

2.1 Charakteristiky Labské vodní cesty

Pro Labskou vodní cestu jsou charakteristické:

- > nízké náklady přeprav – vodní doprava působí v rámci labského dopravního koridoru jako cenový regulátor, umožňuje zvyšování konkurenceschopnosti (význam pro české hospodářství)
- > velká volná kapacita – zásadní význam pro cost effectiveness rozhodování řešení problémů pozemních dopravních módů
- > nejnižší nehodovost, bezpečnost přepravy
- > nízké dopady na životní prostředí především z hlediska hluku, ale také emisí – posilování podílu přeprav zajištěných vodní dopravou je příznivé z pohledu vlivů dopravy jako celku na zdraví obyvatel



Obr. 1: Podélný profil Labe mezi Ústí nad Labem a Riesou

2.2 Vodní cesta a klimatická změna

Probíhající klimatická změna obecně hrozí změnou množství vody v tocích a snížením dostupnosti vody. Tento faktor zdaleka není omezující pouze pro vodní dopravu, protože na množství vody v řekách je vázána celá řada účelů a užívání vod. Primárně jsou to průmysl (technologická voda), zemědělství (závlahová voda), doprava (zajištění plavebních hloubek), rekreace (lokalita pro rekreační využití), energetika (zdroj energie), ale zároveň také životní prostředí a příroda (ekosystémy, biotopy, druhy). Sekundárně je to pak potřeba vypouštění odpadních vod.

Většina scénářů budoucího vývoje klimatu ve střední Evropě a v povodí Labe předpokládá zachování nebo pouze malé změny ročních srážkových úhrnů a průměrných ročních průtoků, ale více či méně výrazné změny v rozložení srážek během roku a tím také narůstající rozkolísanost průtoků. Na základě těchto předpokladů se stává stále aktuálnější potřeba retence a akumulace vody a potřeba zpomalení a řízení jejího odtoku – tedy potřeba efektivního managementu. V úvahu připadají strukturální i technická opatření přímo na tocích i opatření v krajině. K akumulaci vod lze stavět přehrady a jezy, pro zpomalení odtoku vody se provádí komplexní revitalizace vodních toků a jejich niv, jako opatření proti eutrofizaci a zanášení vodních toků se provádějí protierozní opatření apod. Opatření musí být vždy navrhována s ohledem na naplnění zájmů ekonomických i zájmů ochrany přírody a krajiny a minimalizaci střetů. 3 Možnosti adaptace

3.1 Adaptace lodí

Labská flotila prochází historicky plnou adaptací na charakter a stav Labské vodní cesty. Nízkoponorové lodě jsou zde dlouhodobě v provozu, moderní experimenty (lodě Flabi) nová řešení nepřinesly. Lodě Flabi fyzicky neexistují, pro Labe byl vytvořen pouze projekt, přičemž při ponorech nižších než 1,4 m není zajištěn efektivní provoz ani pro tento návrh. Navíc bylo z důvodu vysoké pořizovací ceny od tohoto projektu v roce 2001 ustoupeno. Na trhu se nevyskytují lodě, které by byly řece Labi přizpůsobeny lépe než stávající labské lodě, další adaptace proto není reálná.



Obr. 2: Vzorová sestava nízkoponorové lodě na Labi (rozměry: 134-137 m délka a 10,4-11,4 m šířka)

3.2 Adaptace toku

Jak již bylo uvedeno výše, na množství vody v toku je závislá nejen lodní doprava, ale řada dalších lidských činností (tzv. užívání vod) na straně jedné a vodní a na vodu vázané ekosystémy na straně druhé. Tato skutečnost s sebou nese potřebu akumulace vod a možnosti hospodaření s ní. Adaptace řek a povodí je možná. Adaptace může vést k revitalizacím. Jedná se např. o odsazení hrází a revitalizaci nivy, výstavbu břehových výhonů a zpřírodnění břehů a strukturální opatření v krajině, které podporují retenci.

4 Plavba a ekonomika a životní prostředí

Dle studií PLANCO (2007) a INE (2005) je vodní doprava nejekonomičtější a zároveň vůči životnímu prostředí nejšetrnějším pozemním dopravním módem. Při srovnání jednotlivých módů je patrné, že měrná spotřeba energie nutné na přepravu stejného množství zboží (v kJ/tkm) je jednoznačně nejvyšší u nákladní silniční dopravy. Oproti tomu nákladní železniční doprava spotřebuje přibližně polovinu energie a doprava vodní necelou třetinu. Měřítkem dopadů nákladní dopravy na životní prostředí jsou její externí náklady. Ty zahrnují náklady na nehody, hluk, znečištění, exhalace, užití infrastruktury a přetížení komunikací. V tomto případě jsou výsledky pro vodní dopravu ještě příznivější. Nejvyšší externí náklady vykazuje opět doprava silniční, následována dopravou železniční (56,5 % z nákladů dopravy silniční). Vodní doprava pak vykazuje nejnižší externí náklady (pouhých 14% z nákladů silniční dopravy). Dalším významným ukazatelem je orientační cena přeprav. Při srovnání

přepravy hromadných zásilek na trase Hamburg – Děčín činí cena silniční dopravy 54 €/t, cena dopravy železniční 23 €/t a cena dopravy vodní jen 9 €/t. Za aktuálních přepravních objemů plavba uspoří na přepravních nákladech cca 160 mil. €/rok.

Zdroje

Inland Navigation Europe - INE (2005): Water transport, environment and sustainability, Brussels.

PLANCO Consulting GmbH (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, Essen, Hrsg.: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost.



Kontakt:

Jan Bukovský

Ředitelství vodních cest ČR
Vinohradská 184

130 52 Praha 3

Czech Republic

Tel.: +420 267 132 806

Fax: +420 267 132 804

E-Mail: bukovsky@rvccr.cz

Narozen: 1976

1995-2001

Studium na Stavební fakultě ČVUT v Praze, obor
Podnikání a řízení ve stavebnictví

2001-2008

Doktorské studium na Stavební fakultě ČVUT v
Praze, obor Ekonomika a řízení ve stavebnictví,
specializace socioekonomické vlivy investic do
rozvoje dopravní infrastruktury

od roku 2002

Ředitelství vodních cest ČR, v letech 2004 -2011
vedoucí oddělení rozvoje, od roku 2011 vedoucí
oddělení realizace, po celé období rovněž zodpoví-
dá za administraci financování projektů z fondů EU

Závěrečné poznámky

Thomas Maurer

Vodní režim Labe reaguje citlivěji na změny než jiná, dále západně položená povodí. Labe je totiž méně vodnaté a jeho voda je intenzivněji hospodářsky využívána. Čísla a relace uvedené v tabulce 1 to ve srovnání s Rýnem dokládají – Labe se neodlišuje jen absolutně, nýbrž také relativně z důvodu podstatně nižší průtokové úrovně. Změny v ukazatelích srážek a výparu působí tak s větším vlivem na disponibilní zásoby vody a na množství průtoků.

Tabulka 1

Srovnání komponent vodní bilance povodí Rýna a Labe (dlouhodobé průměrné hodnoty)

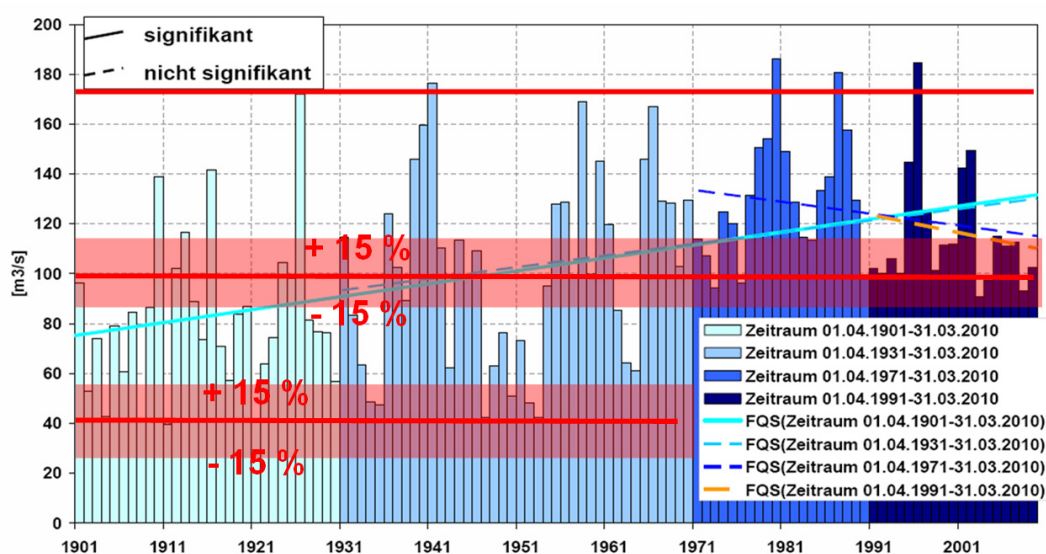
Povodí	Srážky N [mm/a]	Výpar ETA [mm/a]	Průtok R [mm/a]	Poměr R/N [%]
Labe	~ 630	~ 450	~ 180	29
Rýn	~ 950	~ 550	~ 400	42
Poměr Rýn/Labe	1,5	1,2	2,2	1,5

Indikátorem pro intenzivnější nakládání s vodami je poměr mezi instalovaným objemem zadržovaných vod a ročním průtokem. Jak jsme např. slyšeli v přednášce pana Grünewalda, je v povodí Labe zadržováno množství vody v nádržích ve výši asi 4 mld. m³ (viz také SIMON et al. 2005). To je ve vztahu k ročnímu průtoku ve výši 27 mld. m³/a téměř čtyřikrát tolik než v povodí Rýna, kde při trojnásobném průtoku (79 mld. m³/a) obnáší kapacita akumulované vody o něco více než 3 mld. m³ (WILDENHAHN & KLAHOLZ 1996).

V průběhu této konference jsme se zabývali otázkou, jak by mohla vypadat budoucnost v povodí Labe, protože to je předpokladem pro vypracovávání adaptačních opatření. Vzhledem k vlivu nejrozumnějších scénářů klimatické změny se ukázalo jak v přednáškách panů Daňhelky, Hanela, Kocha a paní Lingemann, že existuje poměrně široké rozpětí možných budoucích vývojových tendencí odtokových poměrů, podle toho, na jakém základě se modely a scénáře zvolí. Přitom závisí nejen rozsah, ale i směr budoucích změn velmi silně na volbě těchto ukazatelů. Vedle nejistot vyplývajících z modelování klimatické změny hrají podstatnou roli z důvodu shora uvedených relativně velkých citlivostí také nejistoty vyplývající z modelování hydrologických procesů, především z procesů výparu v souhrě s režimem půdních vod. Paní Lingemann uváděla například pro období 2021-2050 (takzvaná blízká budoucnost) v relaci k období 1961-1990 pro průměr ročních ukazatelů nízkých stavů vod NM7Q na různých profilech Labe – podle toho kterého řetězce modelů – změny kolísající mezi -15 % a +15 %; pan Koch uváděl ve své přednášce podle HATTERMANN et al. pro průměrné průtoky dokonce ještě širší rozpětí klimatického signálu.

Úkolem našich výzkumů, vypracovaných výstupů a diskusí je (1) ukázat rozpětí, podle možnosti je (2) také redukovat, a to tak, že bylo třeba identifikovat neplausibilní projekce a vyřadit je, a zároveň pracovat na zlepšení modelů, a konečně také (3) nevyhnutelné nejistoty zařadit do kontextu a vyhodnotit je.

K poslednímu uvedenému bodu vyplývajícimu při srovnání s uvedenými výsledky práce paní Lingemann s historickou časovou řadou ukazatelů nízkých stavů vod NM7Q uvedenou v přednášce pana Belze (obr. 1) jsou zajímavé například dvě věci: za prvé totiž, že historická variabilita ukazatele je zde podstatně vyšší než rozpětí zjištěného klimatického signálu a za druhé, že antropogenní vlivy mohou mít dokonce větší dopady než vlivy klimatu, popř. mohou je naopak také kompenzovat – totiž pokud se vědomě uplatní jako adaptační opatření. Ve shora uvedeném příkladu by se časová řada vztahující se na rozmezí let 1900 až 1965 a kolísající mezi 40 a 180 m³/s o asi 100 m³/s posunula jen o hodnotu do výše asi 15 m³/s nahoru nebo dolů (za předpokladu neměnné variability). A jak lze poznat na mnohem vyšších hodnotách nejnižších odtoků naměřených od 60. let minulého století ve výši asi 100 m³/s, má opatření jako stavba vltavské kaskády potenciál nejen kompenzovat dopady klimatické změny, nýbrž je dokonce také překompenzovat. Také přednáška paní dr. Ebner von Eschenbach dokládá, že zde existuje mj. značný relativní význam nejrozličnějších antropogenních vlivů vyplývajících z hospodaření s vodami. Toto je příklad, kdy takovou adaptaci je možné z vodohospodářského pohledu provést anebo kdy již de facto proběhla. Rozhodnutí, zda taková adaptace má být skutečně provedena anebo se má nadále udržovat, vyžaduje však v každém jednotlivém případě (a příp. také opakovaně) posouzení poměru nákladů a výnosů, mj. z ekonomického, ekologického a politického pohledu.



Obr. 1: Časová řada nejnižších ročních 7-denních průměrných průtoků (NM7Q) na profilu Děčín/Labe z přednášky pana Belze. Červené záznamy ilustrují limity a klimatické signály uvedené v textu.

Úkol, který je nyní před námi, spočívá v tom, aby výsledky výzkumu byly relevantní, čili chceme podpořit jejich transfer do politicko-administrativního procesu a tím je také zahrnout do rozhodovacích procesů. Tento proces je důležitý rovněž na řece Labi, proto zde dokumentovanou konferenci můžeme považovat za jeden z důležitých stavebních kamenů, kdy aktéři různých dotčených odvětví budou vést dialog přesahující hranice zemí, který je v rámci stávajících národních a mezinárodních struktur nutno dále rozšiřovat.

Jedním z nejdůležitějších výstupů je zjištění, potvrzení a podložení skutečnosti, že existují různá rozpětí klimatické změny. Vyplývá z toho, že nemůže existovat *jedna* budoucnost, nýbrž že zde jsou budoucnostní nejistoty. Toto je pro odborníka triviální konstatování, které se však v dnešní, často až vášnivě vedené veřejné diskusi nekomunikuje vždy dostatečně čitelně. Takové akce, jakou je zde dokumentovaná konference, přispívají k tomu, že si začneme zase daleko více uvědomovat nutnost, která je vlastně již dávno známá z fyziky, a to že si prostřednictvím pečlivě provedených odhadů chybovosti musíme ujasnit limity prováděných šetření. Vzhledem k četným překážkám, resp. k nutnosti muset definovat předpoklady vyplývající z nejrůznějších scénářů, které se nacházejí i mimo oblast klimatické změny, nelze předpokládat, že se zde bude u nalezených rozpětí klimatické změny jednat o jediné platné rozpětí, které je schopno naši budoucnost „správně“ popsat.

Avšak přesto nám dávají výsledky výzkumu orientaci pro nutné následné zhodnocení, které bude zasahovat až do sféry administrativního rozhodování. Protože daleko důležitější než „optimalizace“ rozpětí je nutnost vyvinout kritéria pro volbu „návrhové hodnoty“ pro daný problém, a to v předpolí nalezeného rozpětí. Takovou hodnotu lze však zvolit podle několika požadavků, a to podle potřeby jistoty, finančních možností a jiných (ekonomických, ekologických, ale i politických) okrajových podmínek, a to typicky na základě srovnání nákladů a výnosů, což nemohou stanovit jen sami vědečtí pracovníci, nýbrž do této analýzy je třeba zahrnout společenský hodnotový koncept, počínaje rozhodováním, na které úrovni (národohospodářsky, odvětvově, regionálně atd.) je třeba optimalizovat.

Nakládání s vodami je součástí technické kultury člověka – jak dokáže hospodařit s časově i prostorově neuspokojivým množstvím vodních zásob. Všechny nejdůležitější známé metody vodního hospodářství (hlavně zadržování a převádění vody) jsou proto (částečně už celá staletí) dobře známé adaptační možnosti, vždyť ve skutečnosti žijeme téměř všude a už dlouho v permanentním procesu adaptace. Ne však všechna zásadně možná adaptační opatření se používala ve všech dobách a ve stejné míře. Podle převládajících rámcových podmínek se odlišně hodnotí jejich „nákladovost“, čili hodnotí se náklady ekonomického, ekologického a politického rázu, což může vést k tomu, že určitá opatření jsou apriori, popř. již ve velmi raném stádiu favorizována, anebo mohou být naopak jako „zcela nemyslitelná“ vyloučena (pomysleme zde například na regulaci toků ve vzdutí nebo na vodohospodářské využívání jezer či umělých nádrží v povodí).

Činit rozhodnutí s aspektem nejistoty není žádným novým problémem. Věda dodává racionální podklady pro politické rozhodování, při němž je však často nutné zvažovat i jiné aspekty. Zvolený prostředek je integrované řízení rizik, mimo strategii pouhého vyhýbání se rizikům. Také za situace klimatické změny jde „jenom“ o adaptaci na (příp. změněnou) variabilitu dostupnosti vodních zásob v daném prostoru a čase, pro kterou existuje soubor nástrojů. Konkrétní adaptační opatření jsou nakonec výsledkem zvažování, které obsahuje čtyři zásadní souřadnice, jimiž jsou:

1. velkoplošná dostupnost (potenciálně distribuovatelné) vody
2. technická proveditelnost (know-how) distribučních opatření
3. finanční zdroje
4. politická vůle, resp. společenský hodnotový systém

V mnoha případech však není třeba jednat překotně, spíše je třeba v závislosti na potenciálních škodách a požadované době reakce postupovat diferencovaně, jak ilustruje přehled v tabulce č. 2.

Tabulka 2

Pro hodnocení nutnosti adaptačních opatření

adaptace	potenciální škody	nízké	vysoké
doba reakce	následek	=> irrelevantní	=> pečlivě pozorovat
krátká	=> rozhodnout později	opatření ad-hoc	průběžně zkoumat
dlouhá	=> rozhodnout včas	akceptovat rizika	včas a preventivně jednat

Vzhledem k existujícímu nebezpečí chybných investic do opatření, která nejsou nakonec nutná, je v mnoha případech jistě nadále dobré uplatňovat strategii takřikajíc „na dohled“, nazvanou také strategie „tie-in“, čili návaznou (SCHNEIDER 1983, viz citáty in MAURER et al. 2011), což znamená dávat přednost opatřením, která

- > zvýší „elasticitu“ systému,
- > lze flexibilně přizpůsobit (tzv. opatření 'no-regrets' and 'low-regrets' options),
- > mají další vedlejší anebo duplicitní užitek (situace win-win).

Protože jak pan Pretel velmi výstižně ve své přednášce vyjádřil citátem starým dva a půl tisíce let (!): „Není tak důležité předpovídat budoucnost, ale je nutné se na ni připravit...“ (Perikles, 493-429 př. Kr.).

Použitá literatura

- HATTERMANN, F. F., H. HUANG, S. KOCH (in Begutachtung): Climate change uncertainty and impacts on hydrology and hydropower production in Germany. Hydrological Science Journal. Zitiert in <http://klimafolgenkonferenz.de/programm/hattermann.pdf> (letzter Aufruf 06.05.2013)
- MAURER, T., E. NILSON, P. KRAHE (2011): Entwicklung von Szenarien möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss- und Wasserhaushaltskenngrößen in Deutschland. Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe "Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel", acatech Materialien – Nr. 11, München. Online: <http://www.acatech.de/de/publikationen/materialienbaende/uebersicht/detail/artikel/entwicklung-von-szenarien-moeglicher-auswirkungen-des-klimawandels-auf-abfluss-und-wasserhaushaltsk.html> (letzter Aufruf 06.05.2013)
- SCHNEIDER, S. H. (1983): CO₂, Climate and Society: A Brief Overview. In: Chen, R. S., Boulding, E., Schneider, S. H. (Hrsg.): Social Science Research and Climate Change: An Interdisciplinary Appraisal, D. Reidel, Boston, 9-15.
- SIMON, M., V. BEKELE, V. KULASOVA, C. MAUL, R. OPPERMAN, P. REHAK (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg. <http://www.ikse-mkol.org/index.php?id=208&L=2> (letzter Aufruf 06.05.2013)

WILDENHAHN, E., U. KLAHOLZ (1996): Große Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. Bericht-Nr. II-10 der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), Lelystad und Koblenz, 57 S. ISBN 90 70980 21 5. <http://www.chr-khr.org/files/Rapport%20II%20-%202010.pdf> (letzter Aufruf 06.05.2013)

Kontakt:

Dr. Thomas Maurer

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/ 1306 5242

Fax: 0261/ 1306 5280

E-Mail: thomas.maurer@bafg.de